

Ciel&espace

JWST**UN LANCEMENT
À HAUT RISQUE****DÉCOUVERTE
LES FLOTS
DE GALAXIES
EN ROTATION****OBSERVATION
LES TRÉSORS DE
LA LUNE AU
PREMIER QUARTIER****HISTOIRE
HAMMAGUIR,
LA BASE OUBLIÉE DE
L'ESPACE FRANÇAIS**

ENQUÊTE SUR **LES MONDES HABITABLES**

**LA NOUVELLE EXPLORATION
DU SYSTÈME SOLAIRE**

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Ciel & espace
LES ESSENTIELS

LES ESSENTIELS DE **Ciel & espace**

L'HOMME,
L'ASTRONOME,
LE CONTEUR,
L'ÉCOLOGISTE...

L'UNIVERS D'HUBERT
REEVES

L'UNIVERS DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE D'ASTRONOMIE

EN KIOSQUE LE 22 OCTOBRE



© Laurence Honorat

Alain Cirou
directeur de la rédaction

Il est des expressions, dont l'apparente simplicité, les images qu'elles suggèrent et l'impact médiatique assurent le succès.

C'est le cas de *big bang*, un terme préféré à celui de *singularité nue* qui exprime en physique un point de densité infinie. Et c'est aussi le cas de la "zone habitable" autour des étoiles. Celle qui qualifie pour les exobiologistes l'endroit où il fait bon vivre ! Le terme est rassurant — il élargit implicitement l'idée d'une présence possible de la vie à tout l'Univers — et chacun d'entre nous voit bien ce dont il retourne : trop près du Soleil, on brûle ; trop loin, on gèle. C'est donc la région où l'eau d'une planète en orbite autour d'une étoile demeure à l'état liquide. Et quel meilleur exemple que la Terre pour illustrer le succès d'une telle position ? Nous en sommes la preuve... vivante.

Reste que cette notion d'habitabilité, abondamment utilisée par les astronomes pour commenter de récentes découvertes d'exoplanètes, est bien loin de faire l'unanimité dans la communauté scientifique qui la qualifie de "fourre-tout".

Habitable quand et pour qui ? Sans parler des biologistes

pour qui elle est tout simplement un aveu d'ignorance. Alors que l'on peine toujours à définir le vivant, les conditions de son existence et de son développement restent largement incomprises. La notion même d'origine, de passage de l'inerte à l'animé, peut être questionnée. Et l'est.

C'est dans ce contexte qu'une nouvelle génération de missions spatiales s'apprête à s'élancer dans le Système solaire. Le dossier de ce numéro les détaille et montre que la cible martienne, jusqu'ici privilégiée en raison de son histoire, est loin d'être unique. Les deux frontières de la "zone habitable" sont concernées. Vénus, dont l'atmosphère pourrait ressembler à beaucoup de celles d'exoplanètes rocheuses. Jupiter et ses satellites glacés, Europe, Ganymède et Callisto, qui pourraient abriter des océans intérieurs. Titan, satellite de Saturne dont l'atmosphère dense, le cycle du méthane, l'océan intérieur et la présence avérée de molécules organiques complexes suggèrent l'existence d'une chimie prébiotique. Et aussi des comètes et des astéroïdes dont les dernières explorations ont montré l'importance que ces petits astres occupent dans la formation des planètes et l'émergence de la vie. Une chose est sûre : il y aura forcément des surprises.

Et par effet miroir, la recherche des endroits où la vie pourrait se nicher, dans le Système solaire et autour d'étoiles proches, pointe d'autant plus cruellement, chez nous, les impacts des crises climatiques et de la biodiversité sur l'avenir de ceux qui y habitent. Les "terrestres" selon le terme employé par le sociologue Bruno Latour. Il est inutile d'énumérer la longue liste de catastrophes observées cet été dans le monde et de rappeler qu'elles augmentent chaque année en fréquence et en intensité. Jusqu'à atteindre un seuil critique et menacer l'avenir. À l'origine de ce grand bouleversement, la responsabilité d'une seule espèce est engagée, et c'est la nôtre. Nous ne pouvons pas ignorer que conserver la planète bleue "habitable" pour l'ensemble des espèces nécessite un bouleversement de fond des économies, des mentalités et des valeurs. Une révolution copernicienne indispensable, sans laquelle il n'y aura pas d'avenir pour tous. Nous en avons la capacité, les moyens, si nous échappons aux leurre des prédateurs : la possession matérielle, les ressources illimitées et les fantasmes d'évasion. L'éducation et la culture, mais aussi les arts, les sciences et l'imagination, sont les meilleurs antidotes, avec la fraternité et l'empathie, pour garantir aux vivants une place et un futur... où il fera bon vivre. ●

Découvrez notre kiosque sur **cieletespace.fr**

Vos numéros
sur mobile,
ordinateur et
tablette



Retrouvez l'ensemble de nos publications
en version numérique

MAGAZINES, HORS-SÉRIE, NUMÉROS SPÉCIAUX, nos parutions sont disponibles
sur <https://boutique.cieletespace.fr/numeros>

Ciel&espace

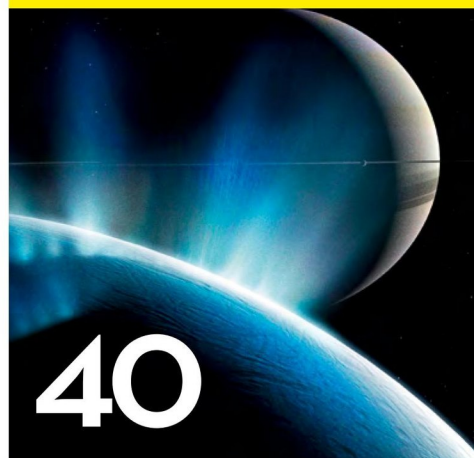
octobre / novembre 2021

3	ÉDITORIAL
8	TOUT IMAGE
14	BLOC-NOTES
19	DÉCRYPTAGES
24	DRÔLES D'IDÉES INSTALLER UN TAPIS VOLANT SUR LA LUNE
26	LANCEMENT À HAUT RISQUE POUR LE JWST
34	DES OBSERVATIONS "BOUSCULENT" LES GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS
64	REPORTAGE TROIS PAILLETES D'ASTÉROÏDE ARRIVENT EN FRANCE
68	PORTFOLIO FUSION DE GALAXIES SOUS L'ŒIL DE HUBBLE
76	HISTOIRE HAMMAGUIR, LA BASE OUBLIÉE DE L'AVENTURE SPATIALE FRANÇAISE
82	L'IMAGE À REMONTER LE TEMPS D'ICARE À ARMSTRONG, LE PLEIN D'ESPACE

84	PREMIER CONTACT FOMALHAUT, L'ÉTOILE À LA PLANÈTE ÉVANOUIE
86	AUX ASTRES, CITOYENS WASP-148 B : DEUX TRANSITS À L'ÉPREUVE DES NUAGES
90	OBSERVATION SOLEIL COUCHANT SUR LE DERNIER QUARTIER
96	ÉPHÉMÉRIDES LES LARMES DU CIEL D'AUTOMNE
106	TEST LE SKY-WATCHER MAK-180, UN TÉLESCOPE DE CITADIN
112	VOUS AVEZ LA PAROLE LE SAMYANG 24 MM F/1,8 FE
114	OUVERT LA NUIT
120	INITIATIVES À STRASBOURG, UN PLANÉTIARIUM QUI MET LA RECHERCHE À L'HONNEUR
122	DU CÔTÉ DE L'ASSOCIATION NUITS DES ÉTOILES, UN 30 ^e ANNIVERSAIRE FÊTÉ À MONTSOURIS
126	AGENDA
128	LIRE, VOIR
130	REGARD RETOUR AU GARAGE

ENQUÊTE SUR LES MONDES HABITABLES

Une nouvelle vague de sondes part à l'assaut du Système solaire. Objectif : les lunes glacées de Jupiter ou de Saturne, les astéroïdes et un grand retour sur Vénus !



© M. Garlick

Revue de l'Association française d'astronomie 17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris. Tél. : 01 45 89 81 47 Fax : 01 45 65 08 95. Sites : www.cieletespace.fr - www.afastronomie.fr - www.galleryastro.fr

Directeur de la publication : le président de l'Association française d'astronomie, Olivier Las Vergnas **Directeur de la rédaction :** Alain Cirou, alain.cirou@cieletespace.fr **Rédacteur en chef :** Philippe Henarejos, philippe.henarejos@cieletespace.fr **Rédacteur en chef adjoint :** David Fossé, d.fosse@cieletespace.fr **Chef de rubrique :** Jean-Luc Dauvergne, jl.dauvergne@cieletespace.fr **Émilie Martin**, e.martin@cieletespace.fr **Rédacteur :** Guillaume Langin, guillaume.langin@cieletespace.fr **Ont collaboré à ce numéro :** Solène Guili, Isabelle Bertrix, Nathan Florent, Stéphane Fay, Sylvain Guilbaud, Hugo Ruher, Michel Beretti, Emmanuel Beaudoin, Maxime Oudoux. **Secrétaire de rédaction :** Emmanuelle Lancel, elancel@cieletespace.fr **Direction artistique :** Olivier Hodasava, ohodasava@cieletespace.fr, assisté de Florence Can. **Publicité et développement commercial :** Cécile Fouqué, cecile.fouque@cieletespace.fr **Contact photo, Ciel & Espace Radio :** Nicolas Franco, n.franco@afanet.fr **Comptabilité :** Sandrine Dorbais, s.dorbais@cieletespace.fr

Contacts diffuseurs presse : Pagine Presse. Tél. : 01 44 69 82 82. **Abonnements :** Abomarque Ciel & espace CS 63656 - 31036 Toulouse Cedex 1. Tél. : 05 34 56 35 60 (10 h-12 h/14 h-17 h). Site : www.cieletespace.fr **Abonnement :** Abonnement. **Abonnement Canada :** Express Mag, 3339 rue Griffith, Saint-Laurent QC H4T 1W5. Tél. : 1(800) 363-1310 ou (514) 355-3333. Mail : expsmag@expressmag.com. **Abonnement États-Unis :** Express Magazine, PO Box 2769 Plattsburgh (New York) 12901 - 0239. Tél. : 1(800) 363 1310 ou (877) 363 1310. Mail : expsmag@expressmag.com.

ISSN n° 0373-9139. CPPAP n° 1023 G 83672. **Impression :** Agir Graphic 53000 Laval, France. Imprimé en France. Distribué par Prestalis. N° 579 - 10/11 2021. Dépôt légal à parution. © 2021 AFA



Papier certifié
FPC.
Origine :
Autriche et
Finlande.
Fibres
recyclées : o.
P tot : 0,01 kg/t
(couverture).
o) kg/t (intérieur).



Prochaine parution le **12 novembre**

LES RENCONTRES DU CIEL ET DE L'ESPACE

LES 19, 20 ET 21 NOVEMBRE 2021

Cité des sciences et de l'industrie - Paris



Billetterie, programme
et informations pratiques
sur le site de l'AFA
www.afastronomie.fr/RCE



Ciel&espace



LE RENDEZ-VOUS DES PASSIONNÉS D'ASTRONOMIE

Astronomes professionnels ou amateurs, passionnés ou curieux d'astronomie se retrouveront à la Cité des sciences et de l'industrie à partir du 19 novembre à 10 h pour trois jours de conférences, de forums techniques, d'animations, d'ateliers.

Plus de **30 conférences** sont prévues et couvrent tout le spectre des sciences de l'Univers ou presque, comme la cosmologie avec David Elbaz "Des galaxies invisibles à l'aube de l'Univers" par exemple. En planétologie, Sébastien Charnoz contera "L'origine des lunes et des satellites", Patrick Michel évoquera "L'exploration des astéroïdes". Il y sera question aussi d'exoplanètes avec Anne-Marie Lagrange et "Bêta Pictoris, un laboratoire pour la genèse des systèmes planétaires", de la fragilité de notre planète avec Hubert Reeves, alors que Jean Jouzel nous détaillera "Comment stabiliser le réchauffement climatique ?".

Près de **90 forums techniques** sur la pratique de l'astronomie sont proposés et classés selon 5 thématiques : photographie et imagerie ; instruments et observatoires ; spectrographie ; observations et travaux ; éducation ; enseignement et culture.

Animations, séances de planétarium, ateliers de découverte, visites commentées des espaces d'Explora complètent l'offre.

Enfin, les Rencontres, c'est aussi la plus **grande galerie commerciale** consacrée à la pratique de l'astronomie et à sa diffusion, de quoi faire rêver tous les amateurs de ciel étoilé devant les télescopes de tous les importateurs.

Trio de cratères

Ces cratères d'impacts singulièrement alignés du plus petit au plus grand ont été captés par la sonde Exomars dans la région martienne Lunae Planum. Proche des volcans de Tharsis, la zone est couverte d'anciennes coulées de lave. On peut observer leurs différentes strates dans les bordures intérieures des cratères. © ESA/Roscosmos/Cassis





OCÉAN DE LUMIÈRE

Un liseré bleu qui dessine l'atmosphère. L'océan comme un miroir où se reflètent des nuages en lévitation. La lumière du couchant qui baigne le tout d'un ton or. Cette image a été prise le 15 juin 2021 par Thomas Pesquet depuis la station spatiale internationale. © ESA/Nasa/T. Pesquet/A. Conigli



MUSE VISE NGC 4303

Équipé de l'instrument Muse (Multi-Unit Spectroscopic Explorer), le Very Large Telescope a pointé NGC 4303, sise à 55 millions d'années-lumière. La belle galaxie spirale de la Vierge révèle ses régions de formation stellaire en jaune orangé et ses étoiles plus âgées en bleu. Les nuages de gaz et de poussière se dessinent en ombre chinoise. © ESO



GANYMÈDE EN GRAND

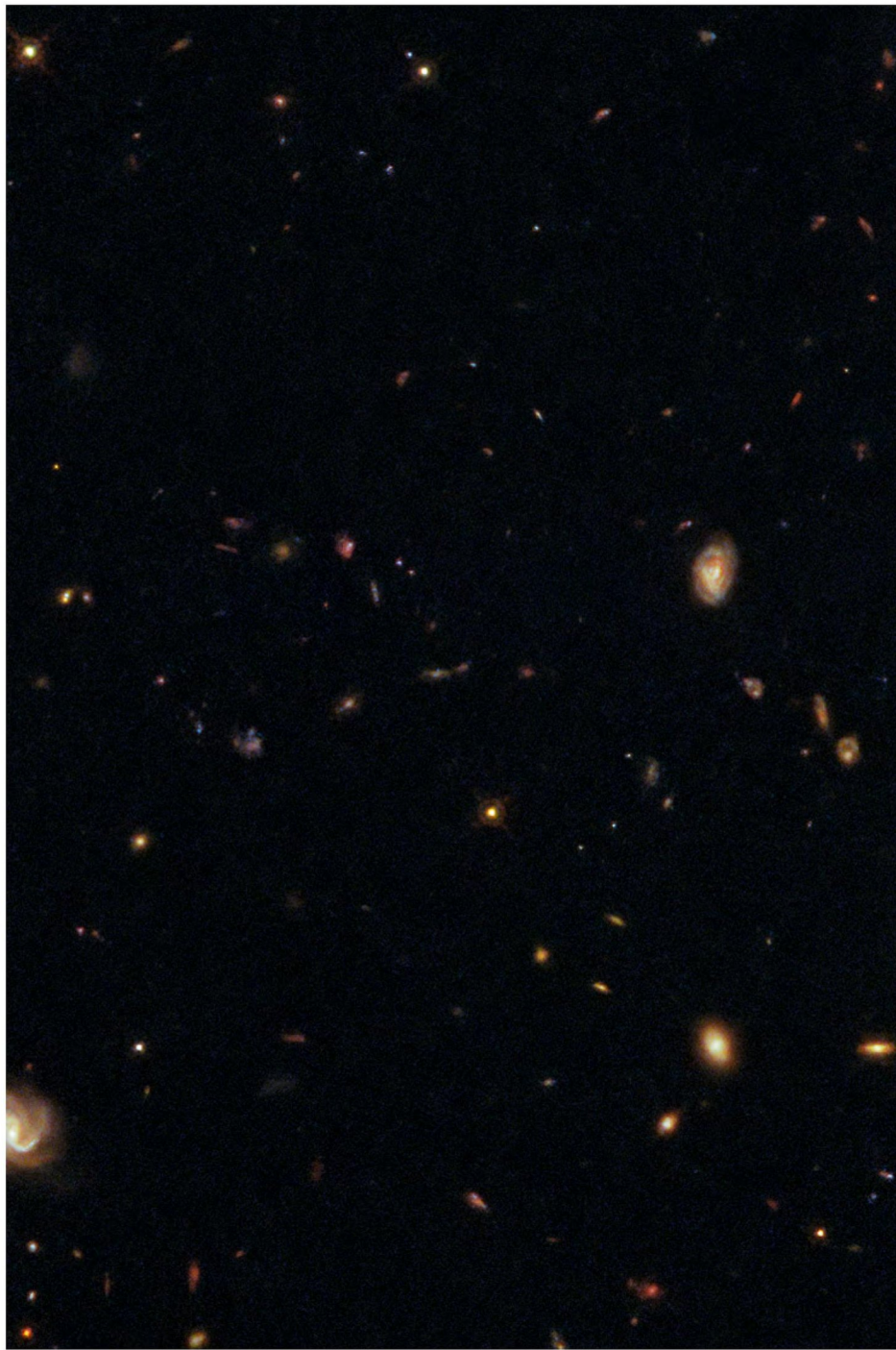
L'Américain Kevin Gill a assemblé trois images réalisées par la sonde Juno à l'occasion de son survol rapproché de Ganymède le 7 juin. La croûte glacée du satellite jovien cache un océan à 160 km de profondeur. Des données d'archives du télescope spatial Hubble ont montré par ailleurs que la glace se sublimait çà et là, expédiant de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ténue du satellite de Jupiter. © Nasa/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/Kevin M. Gill

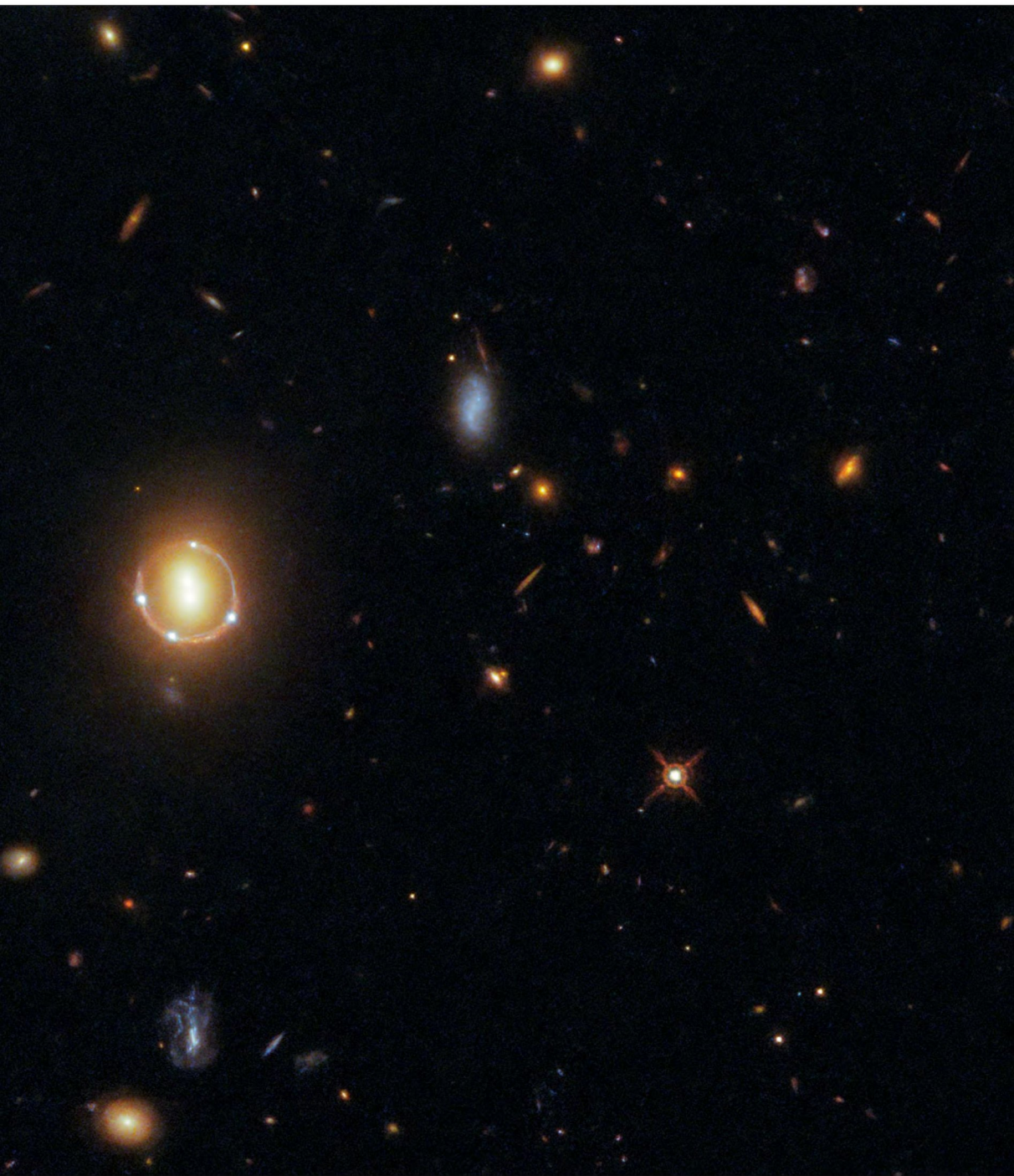


UN COLLIER DE QUASARS

Cette image étonnante a été réalisée par le télescope spatial Hubble. Elle montre un couple de galaxies entouré par l'image démultipliée d'un quasar situé à l'arrière-plan. Cet effet résulte de la torsion de l'espace-temps exercée par une masse (ici, le couple de galaxies), cette torsion entraînant une déviation de la lumière du quasar, astre très lointain mais extrêmement lumineux.

© ESA/Hubble & Nasa, T. Treu





À LA VITESSE DE LA LUMIÈRE

Entre deux numéros de *Ciel & espace*, les planètes ne s'arrêtent pas de tourner. Voici une sélection des actualités publiées en direct sur cieletespace.fr, complément désormais indispensable de la lecture du magazine.

23 juin

ESPIONNÉS PAR DES EXTRATERRESTRES ?

Il y a 428 planètes potentiellement habitables à moins de 100 parsecs d'où la Terre pourrait être vue passant devant le Soleil, d'après l'étude des astrophysiciennes américaines Lisa Kaltenegger et Jacqueline Faherty.

<https://bit.ly/3rHoD77>

29 juin

LA CHINE ROULE SUR MARS

L'agence spatiale chinoise diffuse une vidéo de l'atterrissage de son rover Zhurong sur la planète rouge, puis de son déplacement sur le sol. Spectaculaire.

<https://bit.ly/3knZtaz>

30 juin

FUSION HYBRIDE

C'est une première ! Le 29 juin 2021, les équipes des observatoires d'ondes gravitationnelles Ligo, Virgo et Kagra annoncent la détection de la fusion d'une étoile à neutrons avec un trou noir.

<https://bit.ly/3svi6N4>



Vue d'artiste de la Voie lactée. Et si, au lieu d'un trou noir, le centre de notre galaxie accueillait un amas de matière noire ? © Nasa

1er juillet

TROU NOIR OU MATIÈRE NOIRE ?

Et si le centre de notre galaxie n'était pas un trou noir ? L'équipe d'un chercheur colombien propose un autre scénario, impliquant plutôt un amas de matière noire.

<https://bit.ly/3sdDer6>

11 juillet

MILLIARDAIRE EN APESANTEUR, ÉPISODE 1

Le fondateur de Virgin Galactic, Richard Branson, réalise un vol suborbital à 86 km d'altitude à bord de

son avion-fusée Spaceship Two. Il dame le pion de quelques jours à un autre milliardaire, Jeff Bezos, créateur d'Amazon (lire ci-après).

<https://bit.ly/37a6buq>



Richard Branson en apesanteur.

© Virgin Galactic

15 juillet

JOYEUX ANNIVERSAIRE INGENUITY !

Le petit hélicoptère a fêté ses 100 sols (jours martiens) sur le sol de la planète rouge. Bilan d'une aventure sans précédent.

<https://bit.ly/3yr6cpC>

17 juillet

HUBBLE SORT DE RÉANIMATION

Le télescope spatial, qui avait subi le 16 juin une panne sur l'un de ses ordinateurs, reprend les opérations scientifiques.

<https://bit.ly/3A0mtSQ>

20 juillet

MILLIARDAIRE EN APESANTEUR, ÉPISODE 2

Jeff Bezos connaît à son tour les joies de l'apesanteur. À bord de la fusée New Shepard de sa compagnie Blue Origin, il grimpe à 107 km, accompagné de Wally Funk, 82 ans (lire aussi p. 22).

<https://bit.ly/2VnQA7U>

22 juillet

LUNES EN GESTATION

Une vue unique prise par le télescope Alma en juillet 2019

montre pour la première fois une exoplanète ceinturée d'un disque de poussière, dans lequel peuvent se former des satellites.

<https://bit.ly/3imGldc>

23 juillet

MARS À CŒUR OUVERT

La mission Insight, qui analyse l'activité sismique de Mars depuis 2018, dévoile plus précisément la structure interne de la planète. On connaît à présent la taille de son noyau liquide et l'épaisseur de différentes couches géologiques.

<https://bit.ly/3lwRha9>

29 juillet

L'ESPACE AU FÉMININ

Depuis l'échec des Mercury 13, dont faisait partie Wally Funk dans les années 1960, les femmes se sont frayé tant bien que mal un chemin dans la conquête spatiale. Même s'il n'est plus étonnant aujourd'hui de voir des femmes astronautes, à quel point la situation a-t-elle vraiment changé ?

<https://bit.ly/3xgjnBK>

30 juillet

PIROUETTE RUSSE

Le module russe Nauka a surpris tout le monde en rallumant ses propulseurs, 3 heures après son amarrage à la station spatiale internationale le 29 juillet. Cette dernière s'est alors mise à tourner et il a fallu la stabiliser en urgence.

<https://bit.ly/3AOJF3m>

2 août

BEZOS RENVOYÉ DANS LES CORDES

Le patron de Blue Origin, Jeff Bezos, avait porté plainte contre la Nasa pour n'avoir sélectionné que Space X pour la construction du futur atterrisseur lunaire. La Cour des comptes américaine a rejeté le 30 juillet ses accusations de concurrence déloyale et d'irrégularités de jugement.

<https://bit.ly/3CKxA4I>

6 août

FUSÉE RECORD

Quelques heures durant, le temps d'un test, Space X a érigé la plus grande fusée jamais construite, en empilant le vaisseau spatial Starship sur l'impressionnant lanceur Super Heavy Booster.

<https://bit.ly/3lWM6jS>

10 août

ÉCHANTILLON INTROUVABLE

Le rover martien a tenté d'effectuer sa première collecte d'échantillons du sol de la planète rouge. Mais Perseverance n'a rien récupéré de la roche forée.

<https://bit.ly/3AJohjL>

13 août

DOUBLE SURVOL DE VÉNUS

Les 9 et 10 août, les sondes Solar Orbiter et Bepi-Colombo survolent l'une après l'autre Vénus, à 7 995 km et 552 km respectivement.

<https://bit.ly/2UtUgEW>

19 août

L'ASTÉROÏDE QUI JOUE À LA COMÈTE

L'astéroïde Phaeton expulse du sodium. C'est la raison pour laquelle il déploie une queue

de poussières quand il passe au plus près du Soleil. Un comportement qui, tout comme son orbite très elliptique notée lors de sa découverte en 1983, remet en question la distinction entre comètes et astéroïdes.

<https://bit.ly/3AW8der>

20 août

GALE EST-IL VRAIMENT UN ANCIEN LAC ?

Le site du rover martien Curiosity, le cratère Gale, a été choisi car on pense qu'il a accueilli autrefois un grand lac. Deux chercheurs hongkongais mettent cette thèse en doute. Selon eux, la plupart des composants présents dans les roches n'ont pas été érodés sous l'eau, mais plutôt par des pluies acides dues à l'atmosphère primitive de Mars.

<https://bit.ly/3sxziYM>



Les strates géologiques observées dans le cratère martien Gale ne sont peut-être pas liées à la présence d'un ancien grand lac. © Nasa/JPL-Caltech/MSSS

CLIN D'ŒIL

COSMOS TIMBRÉ

Le 11 octobre 2021, vous pourrez expédier des étoiles et des galaxies par lettre affranchie. La Poste émet un carnet de 12 timbres intitulé "Tutoyer les étoiles", où l'artiste Katy Couprie propose son interprétation des connaissances actuelles sur l'Univers. Nébuleuses, amas d'étoiles et champs de galaxies sont à l'honneur. Avec de la couleur puisque les originaux sont des épreuves de gravure rehaussées à l'aquarelle.



SUR LA TOILE

REVIVEZ LE VOL HISTORIQUE D'ALAN SHEPARD

Le 5 mai 1961, Alan Shepard devenait le premier Américain dans l'espace, à l'occasion du vol suborbital Freedom 7. Si aujourd'hui de nombreuses caméras embarquées permettent au quidam de vivre un lancement comme s'il était lui-même propulsé hors de l'atmosphère, ce n'était évidemment pas le cas il y a cinquante ans ! D'où l'intérêt de la reconstitution 3D proposée sur YouTube par le compte C-bass Productions. Sa mise en parallèle avec les images, réelles, de Shepard dans sa capsule offre un saisissant effet de vérité.

<https://youtu.be/JjAKmhSCjyg>



L'espace, c'est pas pour les touristes !

par JLD & Lepithec ★ lepithec.blogspot.fr



Abonnez-vous à **Ciel&espace**

et réalisez jusqu'à **58 %** d'économie

PAPIER

jusqu'à
- 39 %



NUMÉRIQUE

jusqu'à
- 46 %



PREMIUM

jusqu'à
- 58 %



Retrouvez *Ciel & espace* chez vous toute l'année

DÉCOUVREZ TOUTES NOS OFFRES AU VERSO ou sur www.cieletespace.fr/abonnement

Relation abonnés : cieletespace@abomarque.fr ou 05 34 56 35 60 (10 h-12 h / 14 h-17 h)

JE CHOISIS MON ABONNEMENT

OFFRE PAPIER

TOUT NUMÉRIQUE

OFFRE PREMIUM

6 magazines + 2 hors-séries papier / an
livrés directement chez vous



6 magazines + 2 hors-séries numériques / an
disponible sur pc, tablette et smartphone



1 Almanach papier / an
livré directement chez vous



1 Almanach numérique / an
disponible sur pc, tablette et smartphone



Accès à tous les anciens numéros et hors-séries sur
pc, tablette et smartphone (hors numéros spéciaux)



Accès aux articles web exclusifs
+ toutes nos archives web



Accès aux podcasts exclusifs
+ toutes nos archives podcasts



Club abonnés



TARIF ABONNEMENT 1 AN

63,50 €
au lieu de 103,50 €*

69 €
au lieu de 127,50 €*

87,50 €
au lieu de 207 €*

TARIF ABONNEMENT 2 ANS

120 €
au lieu de 207 €*

131 €
au lieu de 255 €*

164 €
au lieu de 414 €*

* Valeur prix kiosque, podcasts et web selon l'abonnement

Offres valables pour la France métropolitaine. Dom-Tom et autres pays, consultez nos offres sur www.cieletespace.fr/abonnement

Pour le Canada et les USA, contacter : Express Mag (Québec), au 1.800.363.1310 - mail : expsmag@expressmag.com - web : www.expressmag.com



Bon à retourner, avec mon règlement, à Ciel & espace c/o Abomarque - CS 60003 - 31242 L'Union Cedex

Oui, je m'abonne

☐ 1 an papier **63,50 €**

☐ 1 an tout numérique **69 €**

☐ 1 an premium **87,50 €**

☐ 2 ans papier **120 €**

☐ 2 ans tout numérique **131 €**

☐ 2 ans premium **164 €**

Nom

Je règle

Prénom

☐ par chèque à l'ordre de Ciel & espace

Adresse

☐ par CB n°

Code postal [][][][][] Ville

Expiration [][][][]

Tél

Cryptogramme [][][]

Mail*

(*3 derniers chiffres du numéro
figurant au dos de votre carte)

Signature

* Indispensable pour accéder aux podcasts, versions numériques, articles et profiter du Club abonnés

Tarifs valables jusqu'au 30/11/2021

En application de l'article 27 de la loi du 06/01/1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et sont communiquées aux destinataires la traitant. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de nos services. Vous pouvez vous opposer à ce que vos nom et adresse soient cédés ultérieurement. Siège social : Ciel & Espace 17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris.

CEE579

NGC 4921, LA GALAXIE DÉSHABILLÉE QUI SE RHABILLE

C'est la première fois que le phénomène est observé. Dans l'amas de galaxies de la Chevelure de Bérénice, NGC 4921 est en train de réabsorber du gaz moléculaire qu'elle avait perdu, comme le montrent les mesures de l'interféromètre Alma. Ce processus pourrait ralentir l'extinction qui lui était promise. Dans un amas de galaxies en effet, tous les individus (en mouvement) subissent une pression dynamique liée au gaz chaud qui baigne l'amas. Lorsqu'elle s'exerce sur les grandes galaxies spirales, cette pression souffle le gaz moléculaire froid où naissent les étoiles, et donc les dévitalise. Comme le révèle NGC 4921 cependant, la perte n'est peut-être pas aussi irréversible qu'on l'imaginait.

NGC 4921 PARMI SES SŒURS

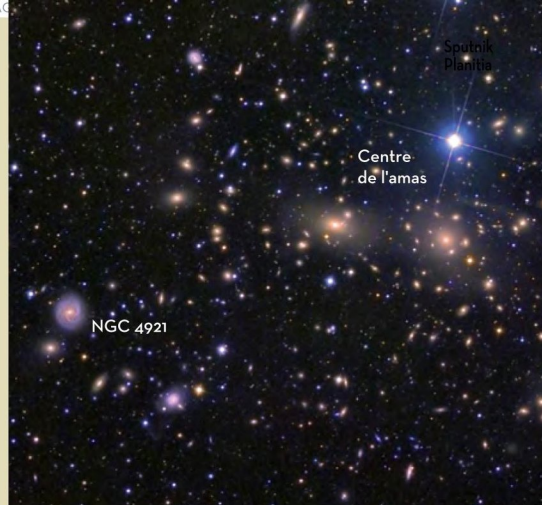
À 250 millions d'années-lumière de nous, NGC 4921 se déplace à 1500 km/s vers le centre de son amas de galaxies. En retour, elle subit un vent, une pression dynamique du gaz chaud qui baigne celui-ci.

GAZ SOUFFLÉ SOUS L'ŒIL D'ALMA

Le gaz moléculaire froid de NGC 4921 est observé en ondes submillimétriques par l'interféromètre Alma. Ici, il est montré sur une portion seulement de la galaxie ; la vue générale de NGC 4921 a été produite par le télescope spatial Hubble. Des structures radiales se devinent, superposées à sa forme générale curviligne. Elles sont dues à la pression du gaz extérieur.

LA SURPRISE DE LA 3D

Les observations d'Alma permettent de déterminer la structure en trois dimensions du gaz froid, ainsi que son mouvement. Surprise : un chapelet de nuages moléculaires est en fait en train de retomber sur la galaxie spirale.



© Dean C. Rowe



© ESO/NAOJ/NRAO et Nasa/ESA/Hubble



© ESO/NAOJ/NRAO/S. Dagnello et Nasa/ESA/Hubble

LES INFORMATIONS CLÉS SUR LE PAPIER

Créé il y a plus de 2 000 ans, le support papier fait partie de notre quotidien. Pourtant il n'est pas certain qu'on le connaisse si bien. Voici 5 informations clés à savoir sur le papier.

1. ON NE DÉTRUIT PAS LES FORÊTS POUR FABRIQUER DU PAPIER

En France, on utilise majoritairement des chutes de production de scieries ou des déchets de bois issus de l'entretien des forêts dont la gestion durable préserve notamment la biodiversité.



90%
des papiers proviennent
de ressources durables

2. LES PAPIERS SONT DE PLUS EN PLUS ÉCOLOGIQUES

Les entreprises innovent pour réduire l'impact des papiers sur l'environnement. Par exemple, en utilisant des encres et des colles qui s'éliminent facilement lors du recyclage.



54%
des papiers
sont
éco-conçus

3. LE PAPIER RECYCLÉ EST DE BONNE QUALITÉ

Grâce aux progrès réalisés, on peut aujourd'hui acheter des produits d'écriture à usage courant de qualité : blocs-notes, carnets, cahiers, ramettes de papier... On peut même avoir des feuilles blanches ou encore avec des textures brillantes.



TRIER,
C'EST
DONNER
UNE NOUVELLE
VIE À NOS
PAPIERS

4. LES MULTIPLES DÉBOUCHÉS DU PAPIER RECYCLÉ

La pâte à papier recyclée peut servir aussi dans la fabrication de produits d'hygiène (essuie-tout, papier-toilette,...), d'emballages et même de produits isolants pour les habitations.



5. TOUS LES PAPIERS SE RECYCLENT

Journaux, papiers brouillon, magazines, catalogues, cahiers à spirale, enveloppes à fenêtre, prospectus... et pour cela, Il suffit de les trier.

57%
c'est le taux de recyclage
des papiers en 2019



Q & R

John Forbes

Astrophysicien à l'Institut Flatiron à New York



DANS OPHIUCHUS, DES BÉBÉS ÉTOILES NOUS ÉCLAIRENT SUR LA NAISSANCE DU SYSTÈME SOLAIRE

Quel rôle a joué l'environnement galactique dans l'apparition du Système solaire ? La répartition de l'aluminium 26 dans une région de formation d'étoiles d'Ophiuchus pourrait permettre de percer le mystère.

Quel est l'intérêt de l'aluminium 26 dans les recherches sur l'origine du Système solaire ?

Cet élément chimique est produit par les supernovas ou les vents stellaires d'étoiles massives. Par ailleurs, il se désintègre rapidement en magnésium 26, en 717 000 ans environ. Dans les années 1970, du magnésium 26 a été découvert dans des météorites, et nous avons ainsi appris que le Système solaire devait s'être formé à proximité d'une source d'aluminium 26. Depuis, des

tas de questions se posent : une supernova a-t-elle déclenché la naissance du Soleil en envoyant une onde de choc à travers son nuage préstellaire, l'enrichissant ainsi en aluminium 26 ? Est-ce plutôt une étoile massive qui est à l'origine de cet enrichissement ? Tout l'aluminium 26 provenait-il d'une seule et même source ? Nous pensons qu'observer des étoiles se former dans un environnement riche en aluminium 26 peut nous apporter des éléments de réponse.

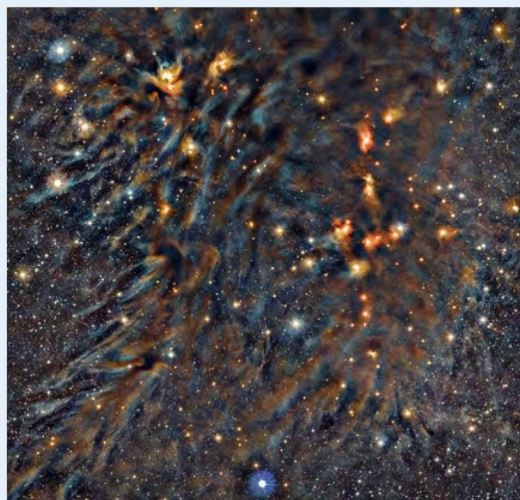
Qu'avez-vous découvert dans la constellation d'Ophiuchus ?

La région de formation d'étoiles d'Ophiuchus a été enrichie en aluminium 26 par plusieurs sources (principalement des supernovas), se situant à 30 années-lumière d'elle. Les explosions ont eu lieu avant la naissance des jeunes étoiles de la région. Nous avons découvert que, selon les cœurs préstellaires, l'abondance d'aluminium 26 peut varier d'un facteur 100. Comme la désintégration de l'aluminium 26 dégage de la chaleur, les zones les plus riches en cet élément donneront des nuages protoplanétaires plus secs, et donc, à terme, des planètes moins riches en eau.

Comment avez-vous obtenu ces résultats ?

Nous avons combiné différents relevés en rayons gamma et dans l'infrarouge proche. Les photons gamma sont émis lors de la désintégration de l'aluminium 26 et nous permettent de remonter à leur source d'émission. Les observations en infrarouge, elles, sont utiles pour détecter les zones de formation stellaire.

PROPOS RECUEILLIS PAR IB



Des étoiles en formation se révèlent à travers la poussière dans le proche infrarouge, grâce au télescope Vista de l'ESO.

© J. Alves/ESO Visions



WALLY FUNK

L'aviatrice américaine la plus performante du projet Mercury 13 (qui visait à former des femmes astronautes dans les années 1960, mais n'a jamais abouti) a finalement volé à bord de la fusée New Shepard de Blue Origin en juillet 2021. Elle devient la plus vieille personne à être allée dans l'espace, réalisant à 82 ans le rêve de sa vie.

À
L'APOGÉE
—
AU
PÉRIGÉE



ROSCOSMOS

L'agence spatiale russe n'a donné aucune explication après l'incident sérieux du 29 juillet. Après l'amarrage à l'ISS de son module Nauka, celui-ci a rallumé ses propulseurs, forçant la station à faire un tour et demi sur elle-même avant qu'elle ne soit enfin stabilisée (lire aussi p. 15).

1/1750

C'est la probabilité d'un impact de l'astéroïde Bennu avec la Terre d'ici l'année 2300, selon une nouvelle analyse de son orbite s'appuyant sur les données de la sonde Osiris-Rex. Le risque sera au plus haut le 24 septembre 2182, avec une probabilité d'impact toutefois faible : 1 sur 2700, soit 0,037 %.

QUAND LES HUMAINS SIMULENT LA VIE SUR MARS

Le 6 août 2021, la Nasa a ouvert 4 postes pour qui voudra participer à l'expérience Chapea : vivre un an d'isolement dans une fausse base martienne. Mais cette simulation n'est pas la première. Tour d'horizon des principales expériences menées sur Terre.

Remerciements : Association Planète Mars

HI-SEAS

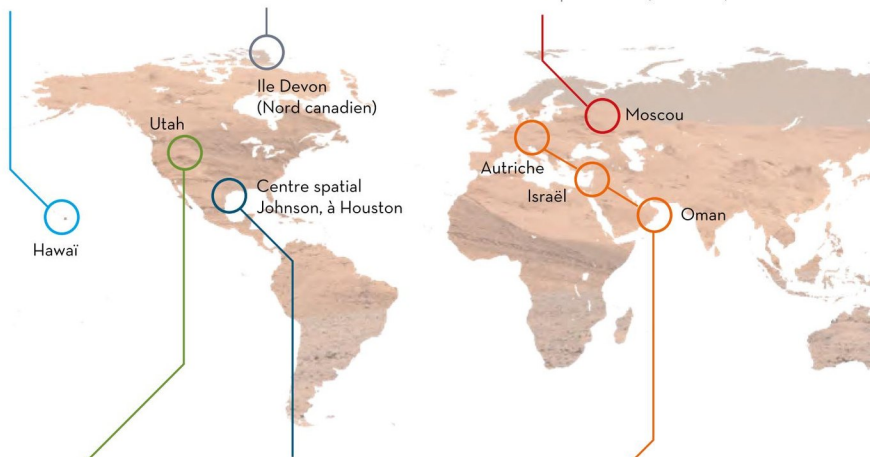
Nasa, université d'Hawaï
Missions effectuées : 6
Isolement : 4 à 12 mois
Habitat : 111 m²
Population : 4 à 6 (mixte)

FMARS

The Mars Society
Missions effectuées : 14
Isolement : 5 jours à 4 mois
Habitat : 108 m²
Population : 5 à 9 (mixte)

Mars 500

Académie des sciences de Russie
Missions effectuées : 2
Isolement : 105 jours, 520 jours
Habitat : 250 m²
Population : 6 (masculine)



MDRS

The Mars Society
Missions effectuées : 225
Isolement : 2 semaines à 3 mois
Habitat : 160 m²
Population : 6 à 8 (mixte)

Chapea

Nasa
Missions effectuées : 0 (début à l'automne 2022).
Isolement : 1 an
Habitat : 158 m²
Population : 4 (mixte)

AMADEE

Forum spatial autrichien
Missions effectuées : 2 (2015, 2018) + 1 en cours (2021)
Isolement : 3 semaines
Habitat : approx. 200 m²
Population : 6 (mixte)



MARS SCIENCE CITY

Constitué de dômes partiellement souterrains, fabriqués par impression 3D avec le sable du désert, ce projet de ville martienne de 117 000 m² aux Émirats arabes unis pourrait accueillir des simulations de vie martienne. Début de construction : 2022.

Rubrique réalisée par Isabeau Bertrix, David Fossé, Solène Guili et Guillaume Langin

FESTIVAL EXPLOR'ESPACE

LES 5, 6 ET 7 NOVEMBRE
À MONTROUGE



CHARLIE DUKE

Dixième homme à avoir
marché sur la Lune

Conférence exceptionnelle

DES EXPÉRIENCES DE RÉALITÉ VIRTUELLE HORS DU COMMUN

Randonnez dans le Système solaire
Roulez sur la Lune

DES ATELIERS OÙ LE PUBLIC EST ACTEUR DU SAVOIR

À quoi ressemblent les
exoplanètes ?
Exquise planète
Science et science-fiction

DES PÉPITES DE LABORATOIRE POUR TOUCHER DU DOIGT LE CIEL ET L'ESPACE

Pilotez le rover Perseverance
Construisez le ciel en Lego
Plongez au cœur d'un trou noir...

DES CONFÉRENCES-DÉBATS

L'homme est-il fait pour l'espace ?
La vie est-elle courante dans l'Univers ?
Doit-on coloniser Mars ?...

DES EXPÉRIENCES CONTEMPLATIVES

Les volutes polychromes
de la nébuleuse d'Orion...

UN SPECTACLE ASTRO PAR SOIR

La Cosmique, de Yaël Nazé
Jonglerie astrale, de
Vincent de Lavenère et David Elbaz
Sous les étoiles, de Kumiko Kotera,
astrophysicienne à l'IAP...

WWW.AFASTRONOMIE.FR/FESTIVAL-EXPLOR-ESPACE



Ciel & espace



esa



SORBONNE
UNIVERSITÉ
CRÉATEURS DE FUTURS
DEPUIS 1257



universcience



INSTALLER UN TAPIS VOLANT SUR LA LUNE

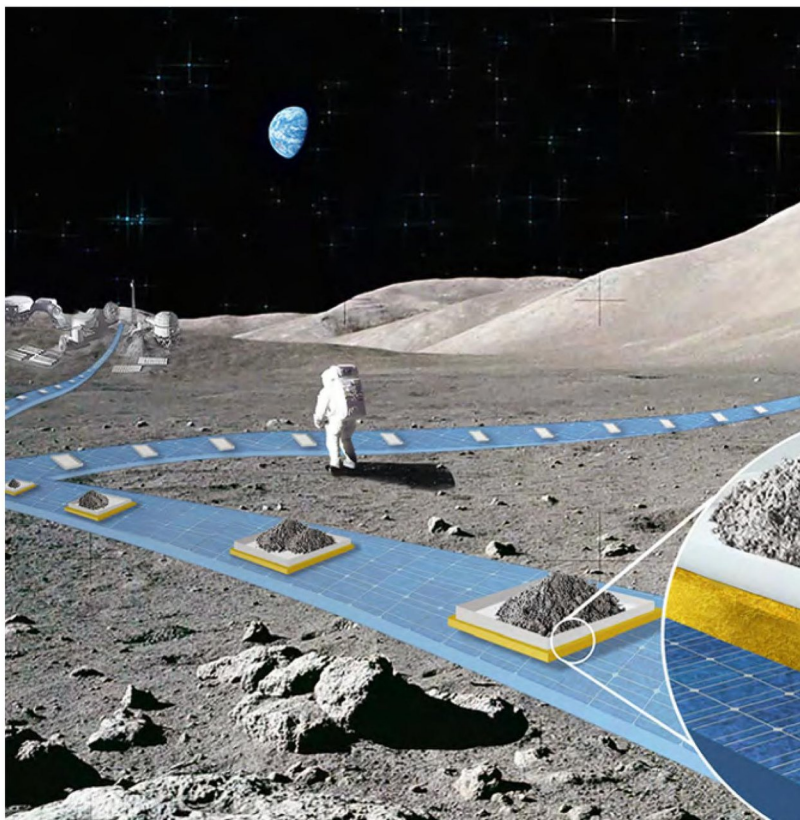
Comment se déplacer sur la Lune sans soulever trop de poussière, première ennemie des engins mécaniques ? En utilisant la technique d'Aladin dans sa version moderne : la lévitation magnétique.

Ethan Scholer a de quoi être satisfait. Jeune ingénieur en robotique au sein du Jet Propulsion Laboratory, il a obtenu cette année non pas un, mais deux financements du programme des concepts avancés de la Nasa pour creuser deux idées originales. Parmi elles, une étonnante proposition de chemin de fer à lévitation magnétique pour la Lune, baptisée Float (pour Flexible Levitation on a Track, soit lévitation flexible sur une piste). *“Nous voulons construire le premier système ferroviaire lunaire, permettant de transporter des charges de façon fiable, autonome et efficace sur la Lune”*, explique l'ingénieur sur le site de la Nasa. C'est un fait : l'installation pérenne d'une base lunaire dans les années 2030 nécessitera des moyens de transport. Pas tant pour les astronautes, qui seront peu nombreux et n'auront probablement pas beaucoup à se déplacer (à l'image des hivernants en Antarctique), que pour les ressources qui seront extraites du sol et les matériels lourds

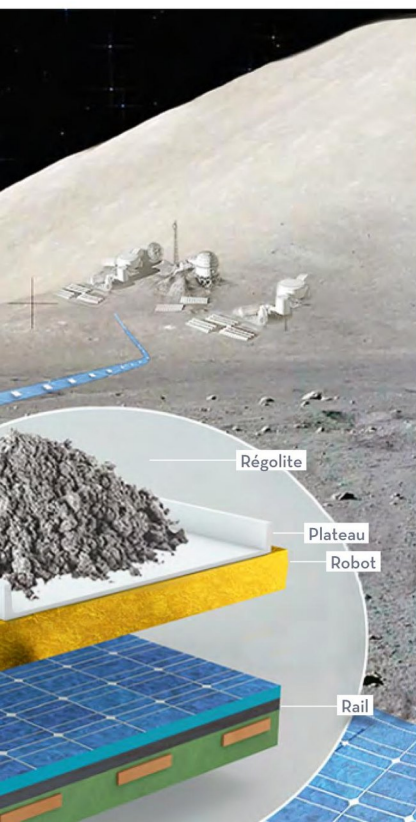
qui devront être transportés. La collecte du régolite pour fabriquer les briques de futurs habitats sur la Lune (voir *C&E* n° 574 p. 26) ou pour en extraire de l'eau, par exemple, se fera à distance des habitats. Il faudra charrier des tonnes de matériel vers les sites

d'excavation, des tonnes de régolite vers les zones d'extraction et de purification de l'eau, puis des tonnes d'eau vers les lieux de stockage et de consommation. Utiliser des humains à ces tâches répétitives n'aurait pas grand sens. Ce seront des robots qui s'en chargeront.

La lévitation permettra peut-être un jour de transporter facilement des matériaux à la surface de la Lune. L'ingénieur Ethan Scholer doit en faire la démonstration avec son projet Float (Flexible Levitation on a Track). Illustration : Nasa/JPL-Caltech



Sauf que les robots ont un grand ennemi sur la Lune : la poussière. Comme en témoigne la couleur des scaphandres des *moonwalkers* au retour de leurs sorties, qui semblent salis par de la suie, elle s'infiltre partout ! Or elle est à la fois fine et abrasive. Autant dire redoutable pour les pièces mécaniques. D'où l'intérêt de l'idée d'Ethan Scholer. Plutôt que des machines à roues ou à chenilles pour transporter des charges d'un endroit à un autre, il propose d'utiliser des plateaux qui se déplaceraient en lévitant sur une piste magnétisée. Un système qui a deux avantages. D'une part, il supprime les roues, rouages et autres articulations fragiles qui nécessitent de la maintenance. D'autre part, il ne soulève pas de poussière



Avec des plateaux en lévitation, plus de rouages ni d'articulations si sensibles à la poussière

puisque rien ne touche le sol ! L'usage de la lévitation magnétique pour le transport n'est pas de la science-fiction. En Chine, le Transrapid de Shanghai relie chaque jour l'aéroport à une station de métro de la ville en utilisant cette technologie. Relativement simple sur le principe, elle tire parti du fait que les pôles de deux aimants s'attirent ou se repoussent selon leur polarité. Cette technique date déjà de plusieurs décennies, les premiers essais au Japon remontant aux années 1960. Bien sûr, son utilisation sur la Lune, où la gravité est 6 fois plus faible que sur Terre, est une idée ingénieuse. Selon Ethan Scholer, Float pourra transporter sur un plateau en lévitation jusqu'à 33 kg/m² à un train de sénateur (2 km/h). Ou encore, dans sa version convoi à grande échelle, 100 tonnes chaque jour sur une distance de plusieurs kilomètres. Mais il ne faut pas s'imaginer Float comme un réseau de chemin de fer, avec de lourds rails inamovibles ! L'originalité du concept est qu'il s'agit d'un système flexible. Plutôt que de rails, son réseau est constitué de pistes — qui sont enroulables dans la coiffe d'une fusée et à dérouler sur le sol lunaire comme un tapis rouge. *“Une piste constituée d'un*

film à trois couches”, précise Ethan Scholer. Une couche de graphite qui permet aux wagons de flotter passivement sur la piste en utilisant la lévitation diamagnétique ⁽¹⁾, une couche constituée d'un circuit électrique qui génère une poussée électromagnétique et permet de contrôler le mouvement des wagons le long de la piste, et en option une mince couche de panneau solaire pour générer de l'énergie. Une telle piste peut-elle réellement être construite ? C'est pour avoir la réponse à cette question que la Nasa finance les travaux d'Ethan Scholer cette année. Avec son équipe, il s'est fixé quatre objectifs. Premièrement, définir le réseau nécessaire si l'on installe une base sur la Lune selon les plans de l'agence américaine : combien de kilomètres de pistes, pour quelle masse transportée chaque jour, avec quels besoins en énergie, etc. Deuxièmement, simuler sur ordinateur les performances d'un tel système dans les conditions lunaires. Troisièmement, expérimenter réellement le concept, à l'échelle du centimètre. Et quatrièmement, faire la synthèse des points précédents pour proposer un design viable à la Nasa, et plus seulement une idée. Nous saurons s'il y est parvenu avant la fin de l'année.

DAVID FOSSÉ

(1) Le diamagnétisme est la capacité de certains matériaux à produire, lorsqu'on leur applique un champ magnétique, un faible champ magnétique opposé. Ce matériau subit alors une force qui le repousse.



Réagissez sur Twitter et Facebook

LANCEMENT À HAUT RISQUE POUR LE JWST

Le très attendu télescope James Webb doit décoller en novembre. Avant d'atteindre son orbite définitive à 1,5 million de kilomètres de la Terre, il se déploiera dans l'espace selon une suite d'opérations complexes, toutes cruciales pour la réussite de sa mission.

Plus de vingt années de travail, de multiples reports, mais voilà... Le JWST, le télescope spatial James Webb ⁽¹⁾, est enfin terminé ! Il doit maintenant rejoindre son orbite grâce à une fusée Ariane 5, dont le lancement est attendu dès la fin novembre 2021. De son décollage jusqu'à son déploiement complet, l'instrument souvent qualifié de successeur du télescope Hubble doit cependant réussir un vrai parcours du combattant pour rejoindre son orbite finale. Un enchaînement qui mettra à rude épreuve les nerfs des ingénieurs de la Nasa.

To

Lancement sous haute tension

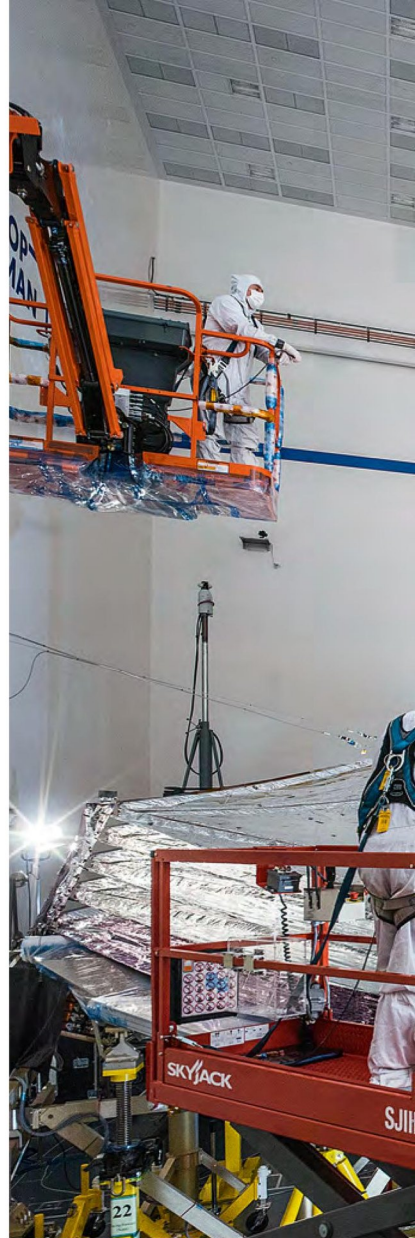
En lançant un télescope high-tech qui aura coûté 10 milliards de dollars

(1) À l'heure où nous imprimons, une enquête interne est en cours à la Nasa pour savoir si le nouveau télescope spatial conservera le nom de cet ancien administrateur de l'agence.

et pris plusieurs années de retard, l'agence spatiale américaine joue gros. La fenêtre de tir est contrainte par plusieurs facteurs. Pendant son trajet, le JWST ne doit pas exposer au Soleil certaines portions sensibles, ni passer près de la Lune. Sur son orbite finale en revanche, et pendant dix ans, ses panneaux solaires doivent être exposés en permanence vers l'astre du jour. Mais pas à la réflexion de la Lune ou de la Terre ! Mises bout à bout, ces contraintes offrent 210 fenêtres de tir par an, certaines pouvant durer jusqu'à 90 minutes.

Le James Webb décollera depuis Kourou, en Guyane française, au sommet d'une fusée Ariane 5. Cette phase ne constitue pas un réel défi, bien qu'elle apporte quelques nouveautés : *"La principale difficulté est que le JWST est seul à bord. Habituellement, Ariane 5 emporte deux satellites à la fois, mais le JWST est très grand. Du fait*

de sa taille, il est donc très actif dynamiquement, ce qui signifie qu'il bouge beaucoup", explique Keith Parrish, responsable technique du futur observatoire spatial. Des vibrations trop





Le JWST est un géant de 21 m de long qui doit être entièrement replié pour entrer dans la coiffe d'une fusée. © Nasa

importantes pourraient endommager le télescope avant même son déploiement. Ce problème est à l'origine des reports de lancement qui ont eu lieu durant l'année 2021.

To + 3,2 min Séparation de la coiffe

Les deux accélérateurs à poudre latéraux ont été largués après 2 minutes de vol. C'est maintenant

la coque aérodynamique recouvrant le télescope qui se scinde en deux et se détache. Recroquevillé sur lui-même, le télescope James Webb est exposé au vide de l'espace pour la

première fois, toujours propulsé par l'étage principal d'Ariane 5.

To + 30 min

Séparation du JWST

Distance de la Terre : 10 000 km

Grâce à l'étage supérieur d'Ariane 5, qui a commencé sa propulsion plus de 8 minutes après le décollage, le JWST se trouve déjà à quelque 10 000 km de la Terre. C'est à ce moment, peu après l'arrêt du moteur, que le télescope est libéré et poursuit sa route sur sa lancée, désormais livré à lui-même.

To + 33 min

Déploiement des panneaux solaires

Distance : 11 000 km.

Les panneaux solaires engrangent l'énergie qui permettra aux différents systèmes de fonctionner. Jusqu'à cette étape, le télescope était alimenté par une batterie dont l'autonomie n'est que de quelques heures. Ce premier déploiement est donc une vraie course contre la montre pour produire le maximum d'énergie le plus tôt pos-

sible et économiser la batterie. Cette manœuvre est cependant bien maîtrisée et les équipes sont confiantes : "Il s'agit d'une opération de routine à faible risque, car de nombreux vaisseaux spatiaux procèdent de la sorte", rappelle Paul Geithner, chef de projet adjoint de la partie technique du JWST. Le télescope utilise son système de contrôle d'attitude afin de s'orienter dans le meilleur angle possible pour capter au mieux les rayons du Soleil.

To + 12 h

Première correction de trajectoire

Distance : 133 000 km

La destination du JWST est le point de Lagrange L2. Ce point d'équilibre gravitationnel est situé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, dans la direction opposée au Soleil. Pour l'atteindre, le télescope doit effectuer plusieurs corrections de trajectoire. Des étapes critiques, car leur bonne réalisation permet d'économiser le carburant du télescope. Utiliser seulement l'élan apporté par Ariane 5 pour rejoindre le point L2 n'est pas possible.

"Nous n'aurions pas de bon moyen pour ralentir le JWST. Il faudrait pour cela le réorienter. Mais si le Soleil éclaire alors le télescope, il risque de l'endommager", indique Keith Parrish. Il faut donc employer moins de force au lancement et effectuer une correction de trajectoire grâce au système de fusées et de propulseurs embarqués, permettant une accélération de quelques dizaines de mètres par seconde. Cette manœuvre est appelée "combustion". Elle doit s'opérer dans ce délai de 12 heures pour être optimale, car plus elle tarde et moins elle est efficace, réduisant un peu plus les réserves de carburant, et avec elles, la durée de la mission. *"Nous nous rongerons les ongles et serons assez stressés pour cette première correction à mi-parcours. Mais le plus difficile reste à venir..."* assure Keith Parrish.

To + 24 h

Déploiement de l'antenne

Distance : 216 000 km

Jusqu'à maintenant, le JWST communiquait avec la Terre grâce à deux



Après un compte à rebours particulièrement stressant, une fusée Ariane 5 emporte hors de l'atmosphère terrestre le dernier bijou de l'astronomie spatiale.



Moins de 200 secondes plus tard, la coiffe de la fusée européenne se détache et le JWST est exposé pour la première fois au vide de l'espace.

petites antennes de part et d'autre du vaisseau. Mais l'éloignement impose désormais le déploiement de l'antenne à haut gain pour échanger avec les trois stations du Deep Space Network, situées à Canberra (Australie), Madrid (Espagne) et Goldstone (Californie). Cette même antenne permettra plus tard l'envoi des observations scientifiques.

Pour le moment, elle transmet des données de suivi de trajectoire, cruciales pour préparer les corrections de trajectoire à venir. *“Grâce à ces informations, nous déterminons combien de temps nous devons utiliser nos fusées pour atteindre le point de Lagrange L2”,* précise Keith Parrish. *“Cette première journée comptera beaucoup, ajoute-t-il, enthousiaste. Quand le télescope James Webb commencera à communiquer, nous allons être très excités. Après tant d'années de travail, il sera vraiment dans l'espace et il fonctionnera.”* Mais une nouvelle source de stress attend l'ingénieur et ses collègues : le déploiement du pare-soleil et des miroirs.

To + 2,5 jours

Deuxième correction de trajectoire

Distance : 395 000 km

To + 2,7 jours

Déploiement du bras avant du pare-soleil - Distance : 454 000 km

Les bras qui soutiendront le pare-soleil doivent s'ouvrir l'un après l'autre : d'abord le bras avant, puis le bras arrière. C'est sur eux que repose encore le pare-soleil, à l'abri sous une membrane qui lui sert de couvercle. Deux jours plus tard, cette protection se déverrouillera et le pare-soleil sera étiré à l'aide de bras télescopiques, perpendiculaires aux bras avant et arrière.

To + 3,3 j

Déploiement du bras arrière du pare-soleil - Distance : 476 000 km

To + 4 j

Déploiement de la tourelle support du miroir - Distance : 577 000 km

Avant d'être déplié, le miroir en béryllium est éloigné du corps du télescope et de son futur pare-soleil.

To + 5 j

Déploiement du rabat de correction d'attitude - Distance : 600 000 km

Avec son pare-soleil de presque 300 m², le JWST est une immense voile solaire. Son orbite et son attitude doivent donc être contrôlées en permanence. Les pilotes du JWST utilisent pour cela des roues à inertie et de petits propulseurs, mais aussi ce dispositif qui permet d'économiser du carburant.

To + 5 j à 7 j

Déploiement des rampes intermédiaires du pare-soleil et mise en tension de ses cinq couches

Distance : 612 000 à 678 000 km

C'est l'une des étapes les plus critiques. Les cinq films parallèles du pare-soleil, chacun plus fin qu'un cheveu, sont déroulés puis mis en tension. Dans leur ombre, la température des miroirs descend à -223 °C. La face éclairée du JWST, elle, est chauffée par le Soleil à 85 °C. Le pare-soleil a été source de nombreux retards dans le calendrier : *“Quelques erreurs ont été*



To + 30 min

Après la phase de propulsion, le James Webb est largué définitivement et poursuit sa route sur sa lancée. Il est encore recroquevillé sur lui-même.



To + 2,7 jours

Moins de trois jours après lancement, à plus de 450 000 km de la Terre, le JWST ouvre le bras avant de son vaste pare-soleil.

commises dans l'assemblage, que nous avons dû reprendre. Il faut également beaucoup plus de temps pour déployer le pare-soleil au sol que dans l'espace", indique Paul Geithner, ajoutant que la complexité de cette opération est aussi due au fait que "le pare-soleil est fait de membranes et de câbles qui ne sont ni rigides ni souples, et il faut bien les contrôler pendant tout le processus de déploiement. Sinon ils flottent de manière aléatoire, causant des enchevêtrements et des accrocs empêchant le déploiement. C'est là qu'il y a le plus de danger qu'un incident se produise."

To + 9 j

Déploiement des abat-jours des radiateurs

Distance : 727 000 km

Les radiateurs du JWST l'aident à évacuer sa chaleur dans le vide interplanétaire. Pour améliorer leur efficacité, ils sont placés dans l'ombre d'abat-jours. Protégé par son pare-soleil maintenant déployé, le télescope va se refroidir très vite.

C'est un point de non-retour, car la température du JWST ne pourra dès lors plus remonter. *"Nous allons surveiller attentivement la progression du processus", insiste le responsable technique du futur observatoire spatial. Un tel refroidissement engendre des déformations, la matière étant plus condensée à basse température. Et une déformation trop violente pourrait endommager le télescope. C'est également un défi de conception : "Nous avons construit cet objet à température ambiante et il doit fonctionner à quelques dizaines de degrés au-dessus du zéro absolu, ce qui nous oblige à le concevoir de manière à ce qu'il puisse changer de forme avec la température sans briser", indique Paul Geithner.*

Cette baisse de température doit donc être maîtrisée, notamment pour éviter que l'eau piégée par les structures en graphite époxy ne crée des couches de glace. En ralentissant ce refroidissement, cette eau a le temps de s'échapper sous forme de gaz. Ce contrôle est particulièrement impor-

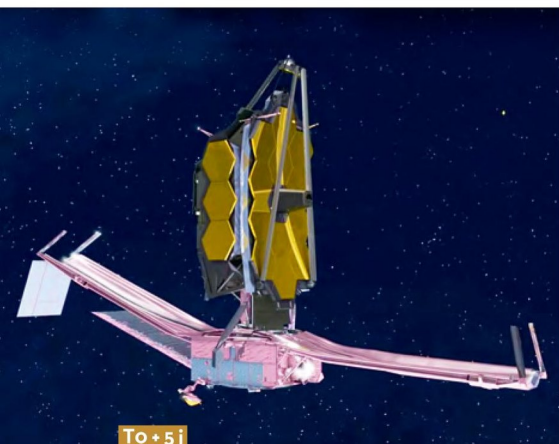
tant pour le bon déroulement des déploiements suivants, mais aussi pour les performances des miroirs du JWST. Un miroir déformé rendrait toute observation impossible. *"Nous avons dû les agencer de manière à ce qu'ils soient mal alignés à température ambiante, mais corrects à très basse température", s'amuse Paul Geithner.*

To + 11 j

Déploiement du miroir secondaire

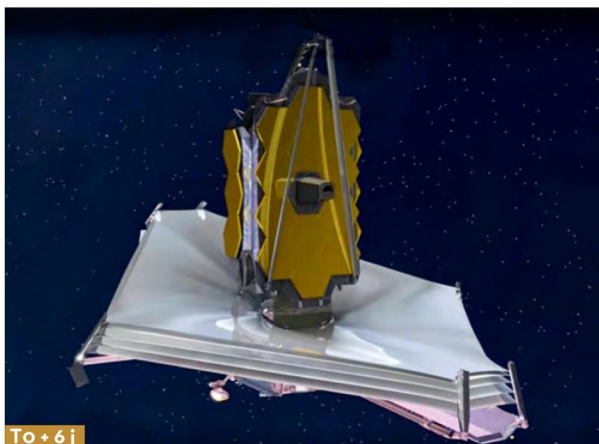
Distance : 950 000 km

Le miroir secondaire est la deuxième surface sur laquelle se réfléchit la lumière captée par le télescope. Plus petit que le miroir primaire, il est maintenu au bout d'un trépied formé par trois entretoises légères et très résistantes aux températures extrêmes du vide spatial. Le miroir secondaire redirige la lumière captée par le miroir primaire vers les instruments scientifiques du JWST. Les deux miroirs sont en béryllium, rigide, léger et résistant aux températures cryogéniques. Une fine couche d'or les recouvre pour



To + 5 j

Cinq jours après son lancement, le JWST a déployé ses deux bras ainsi qu'un rabat de correction d'attitude (visible à gauche).



To + 6 j

L'étape suivante dure deux jours : il s'agit de déployer les cinq films minces du pare-soleil. Sans eux, le James Webb ne pourra pas se refroidir et scruter l'Univers en infrarouge.

compenser la faible réflexion dans l'infrarouge de ce matériau.

TO + 12 j

Déploiement de la première aile du miroir primaire

Distance : 1 000 000 km

À ce stade, le miroir primaire, composé de 18 segments hexagonaux disposés en nid d'abeille, est replié sur lui-même. Deux ailes comportant chacune trois de ces segments doivent se déplier et s'insérer dans le plan formé par les douze autres segments.

TO + 13 j

Déploiement de la seconde aile du miroir primaire

Distance : 1 050 000 km

Le miroir plaqué or de 6,5 m est entièrement ouvert. Cette étape marque la fin du déploiement du JWST. *“Ces quatorze jours seront les plus longs. Les imprévus sont toujours possibles. Ce sera une grande période de doute, mais c'est normal, anticipe Keith Parrish. Ce n'est qu'une fois tous ces*

déploiements terminés que nous pourrons vraiment respirer.”

Un état d'esprit que partage Paul Geithner : *“Il y aura un gros soupir de soulagement après ces deux premières semaines, puis un autre une fois que nous serons sur notre orbite, un mois plus tard. Je ne veux pas considérer à la légère l'alignement du télescope et le processus de calibration des instruments, mais il y a beaucoup moins d'incertitudes sur ces étapes. Si le James Webb se déploie correctement, il sera prêt à réussir.”*

TO + 29 j

Insertion du JWST en orbite autour du point de Lagrange L2

Distance : 1 400 000 km

TO + 33 j

Mise en service de Nircam et de Nirspec

Nircam est une caméra, Nirspec, un spectromètre. Cette étape permet de s'assurer que la lumière captée par le miroir primaire parvient aux détecteurs.

TO + 2 à 3 mois

Alignement des segments du miroir primaire et mise en route de Miri

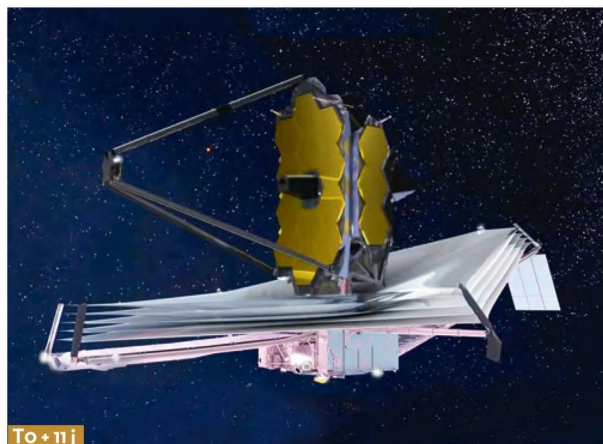
Miri est un spectro-imageur. La première image de qualité scientifique devrait être réalisée à la fin de cette séquence.

TO + 6 mois

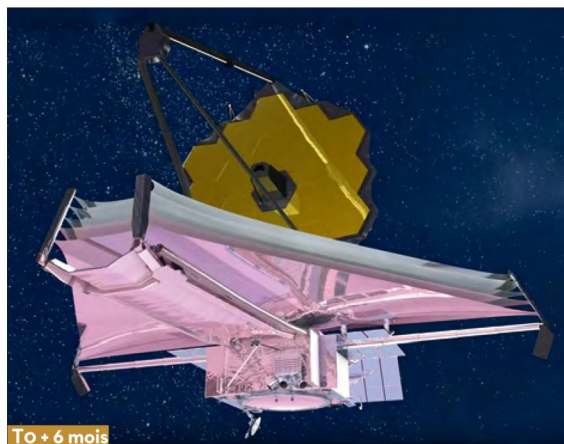
Début des observations scientifiques

Le JWST observe l'Univers dans l'infrarouge. Il doit donc opérer à très basse température. Afin de pouvoir conserver en permanence le Soleil, la Terre et la Lune derrière son pare-soleil, il sera en orbite autour du point de Lagrange L2. Ce point d'équilibre gravitationnel garantit un alignement constant entre le Soleil, notre planète, et le télescope. Le JWST y parcourra en six mois une vaste boucle, plus étendue que l'orbite de la Lune autour de la Terre, dans un plan presque perpendiculaire à celui de l'orbite terrestre.

NATHAN FLORENT ET DAVID FOSSÉ



Onze jours après le lancement, à presque un million de kilomètres, le miroir secondaire du télescope spatial est déployé. Le miroir primaire se déplie entièrement les deux jours suivants.



Ce n'est qu'après six mois, dont plusieurs passés à tester tous les instruments, que commencent les observations scientifiques du James Webb Space Telescope.



GALLERY
ASTRO

OFFREZ-VOUS UNE FENÊTRE SUR NOTRE UNIVERS
DÉCOREZ VOS MURS DE NOS PAYSAGES NOCTURNES OU OBJETS CÉLESTES

SPECTACLES NOCTURNES



CHEMIN DE LA LUNE AU-DESSUS DE LA
VILLE ENDORMIE



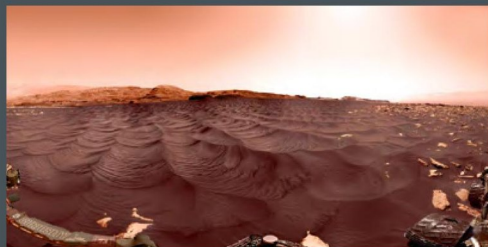
NEOWISE VOLE AU-DESSUS DU
MERCANTOUR



LES NÉBULEUSES D'ORION ET DE
L'HOMME QUI COURT (M42 ET NGC 1977)



SATURNE



LES SABLES DE FORVIE



LES PILIERS DE LA CRÉATION



LA NÉBULEUSE DE LA LAGUNE



LA NÉBULEUSE DE LA BULLE

Tous nos tirages
et finitions
sont réalisés par
le laboratoire
professionnel

PICTO



LE TIRAGE FINE ART CONTRASTÉ

Impression jet d'encre pigmentaire sur Papier Baryté Hahnemühle Photo Rag ® Baryta 315g pour rendu brillant baryté, idéal pour des images contrastées. Sa surface fine et lisse rend les images particulièrement denses et précises. De plus, l'enduction de sa surface au sulfate de baryum lui confère une longévité exceptionnelle.



LA FINITION CLASSIQUE

Le tirage Fine Art est contrecollé sur une plaque d'aluminium d'1mm avec au dos des barres d'accrochage haut et bas pour une fixation parfaite et plus aisée.

Retrouvez toutes nos
images et finitions sur
www.galleryastro.fr



Bon de commande à retourner accompagné de son règlement
par chèque à l'ordre de l'AFA (Association française d'astronomie), à :

GALLERY ASTRO - AFA

17, rue Émile-Deutsch-de-la-Meurthe 75014 Paris - 01 45 89 81 44

DÉSIGNATION	Qté
CHEMIN DE LUNE AU-DESSUS DE LA VILLE ENDORMIE © R. Leblanc-Messager 60 x 40 CM	
N°79/1 - Tirage Fine Art	63 €
N°79/2 - Finition classique	154 €
NEOWISE VOLE AU-DESSUS DU MERCANTOUR © M. Malanquin 60 x 45 CM	
N°79/3 - Tirage Fine Art	63 €
N°79/4 - Finition classique	154 €
LES NÉBULEUSES D'ORION ET DE L'HOMME QUI COURT (M42 ET NGC 1977) © S. Gloaguen - 60 x 45 CM	
N°79/5 - Tirage Fine Art	63 €
N°79/6 - Finition classique	154 €
SATURNE - 80 x 45 CM	
N°79/7 - Tirage Fine Art	95 €
N°79/8 - Finition classique	209 €
LES SABLES DE FORVIE - Traitement de T. Appéré - 80 x 40 CM	
N°79/9 - Tirage Fine Art	95 €
N°79/10 - Finition classique	209 €
LES PILIERS DE LA CRÉATION - 40 x 40 CM	
N°79/11 - Tirage Fine Art	49 €
N°79/12 - Finition classique	129 €
LA NÉBULEUSE DE LA LAGUNE (M8 OU NGC 6523) 28 ^e anniversaire d'Hubble 40 x 40 CM	
N°79/13 - Tirage Fine Art	49 €
N°79/14 - Finition classique	129 €
LA NÉBULEUSE DE LA BULLE (NGC 7635) - 40 x 40 CM	
N°79/15 - Tirage Fine Art	49 €
N°79/16 - Finition classique	129 €

Total TTC
(frais de port inclus)

ADRESSE DE LIVRAISON :

Nom Prénom

Adresse

Code postal Ville

Mail* Tél.*

*Indispensable pour la confirmation d'envoi et le suivi des colis

*Indispensable en cas d'absence de mail

Je règle ☐ par chèque

☐ par CB n°

Expiration Cryptogramme 3 derniers chiffres du n° figurant au dos de la carte

Signature

En application de l'article 27 de la loi du 06/01/1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et sont communiquées aux destinataires la traitant. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès de nos services. Vous pouvez vous opposer à ce que vos noms et adresse soient cédés ultérieurement.

Tarifs valables pour la France métropolitaine jusqu'au 30 novembre 2021

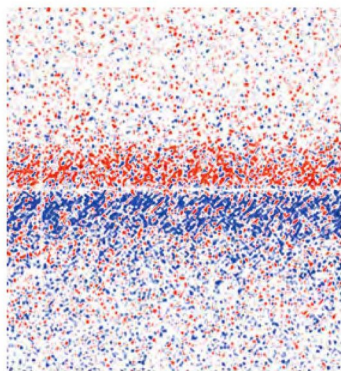
DES OBSERVATIONS “BOUSCULENT” LES GRANDES STRUCTURES DE L’UNIVERS

La découverte des plus grandes structures de l’Univers en rotation, mais aussi d’un arc de galaxies de 3,3 milliards d’années-lumière donne le tournis aux astronomes qui doivent faire entrer ces géants dans les cases de leurs modèles !

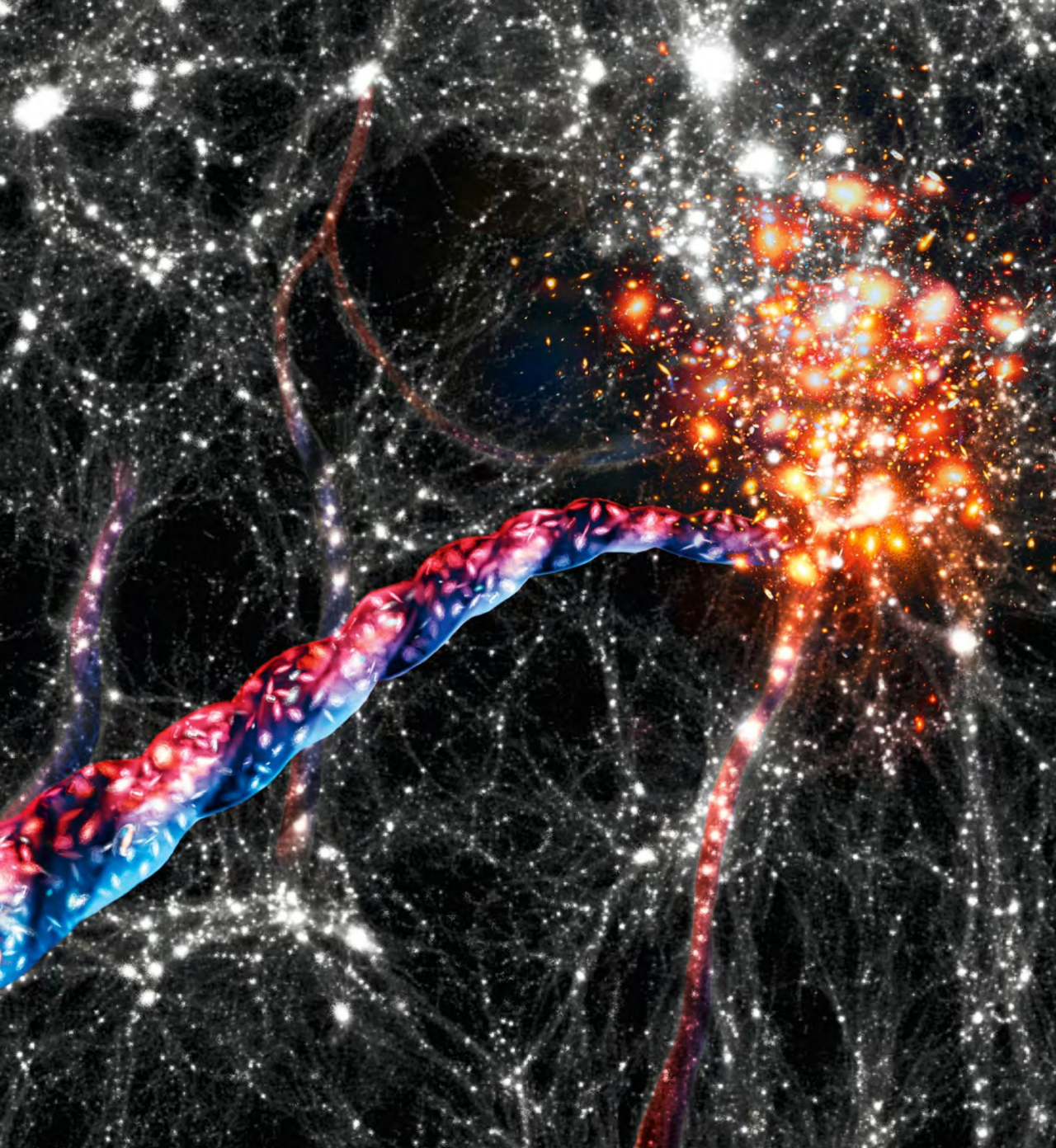
Qu’il est difficile d’appréhender ce qui est immense ! C’est sûrement ce que se disent les astronomes à la suite de deux découvertes qui viennent chambouler notre vision de l’Univers aux très grandes échelles. La première est tout simplement celle des plus grandes structures en rotation que l’on connaisse, à savoir les vastes filaments de galaxies qui parcourent l’espace et tourneraient

autour de leur axe. Elle est due à une équipe conduite par Peng Wang (Institut d’astrophysique de Potsdam). La seconde découverte est celle d’une des plus grandes structures jamais répertoriées, un arc géant de galaxies qui s’étendrait sur 3,3 milliards d’années-lumière ! Elle a été réalisée par une équipe menée par Alexia Lopez et Roger Clowes (Central Lancashire University) et interroge la validité de l’hypothèse d’un Univers supposé homogène aux grandes échelles et sur laquelle reposent la plupart des théories cosmologiques. Mais comment peut-on réussir à apprécier des structures si gigantesques au bout de nos minuscules lorgnettes ?

Pour le comprendre, il faut d’abord se demander comment ces grandes structures se sont formées. Tout commence par de petites surdensités de matière noire qui se mettent à croître environ 50 000 ans après le début de l’expansion de l’Univers. Sensibles seulement à la gravité, elles s’effondrent un peu partout sur elles-mêmes et forment un réseau de structures compactes de filaments de matière noire de plusieurs centaines de millions d’années-lumière de longueur pour quelques millions de diamètre, avec des halos à leurs extrémités. La matière ordinaire,



Selon qu’on les regarde d’un côté ou de l’autre du centre d’un filament, les galaxies semblent s’éloigner (en rouge) ou se rapprocher (en bleu). Un signe évident de rotation de toute la structure, explique Peng Wang. DR



L'Univers est structuré à grande échelle par de vastes filaments de matière peuplés de galaxies, qui se croisent en nœuds où l'on trouve des superamas. Cette vue d'artiste met en évidence leur rotation. © AIP/ A. Khalatyan/ J. Fohlmeister



Les amas de galaxies (comme ici MACS J0454.1-0300, photographié par Hubble) sont la manifestation visible d'une concentration de matière bien plus importante, sous forme de matière noire. Ils sont alimentés par des filaments constitués eux aussi de galaxies et majoritairement de matière noire. © Nasa/ESA/HST

attirée par la gravitation de la matière noire, va alors mimer sa structuration. Dans les régions les plus denses apparaissent des amas de galaxies au sein desquels les nuages de gaz effondrés donnent naissance à des étoiles, tandis que des quasars s'allument. Ailleurs, de grands vides dont la densité de matière atteint parfois seulement 1/10 de la densité moyenne se forment. Ainsi naissent les grandes structures que nous observons aujourd'hui et

dont on parvient à reproduire les caractéristiques générales lors de simulations sur de puissants ordinateurs. Et c'est justement à la suite de l'une d'entre elles que l'équipe à laquelle appartient Mark Neyrinck, chercheur "Ikerbasque" à l'université du Pays basque (Espagne), prédit que les filaments de matière noire et de galaxies pourraient tourner autour de leur axe. *"C'était incroyable qu'un modèle de formation des structures que j'ai élaboré se*

UNE AIDE POUR PISTER LA MATIÈRE NOIRE

L'observation des grandes structures nous aide à mieux connaître les propriétés de la matière noire. En effet, la matière ordinaire et lumineuse est supposée suivre la même distribution que la matière noire : là où est l'une, l'autre y est aussi ! De plus, la gravitation de ces deux matières dévie les rayons lumineux des objets qui se trouvent en arrière-plan par rapport à un observateur sur Terre. La mesure de cette déviation, que l'on appelle une lentille gravitationnelle faible, nous renseigne aussi

sur la quantité de matière qui en est à l'origine. Tout ceci nous permet de cartographier la matière noire dans l'Univers et l'évolution de la densité des structures, c'est-à-dire à quel point elles se sont regroupées sous l'effet de leur gravité à travers le temps. Comme cela dépend également de l'expansion de l'Univers, on peut ainsi tester les propriétés de l'énergie sombre qui accélère cette expansion ou encore de la théorie de la gravitation dont elle dépend aussi.

soit révélé prédire une pareille chose", note l'astrophysicien. Restait alors à l'observer dans le ciel. "Après avoir pris connaissance de nos résultats au cours de quelques conférences, Peng Wang a décidé de faire des observations pour les vérifier", se souvient Mark Neyrinck.

DES FILAMENTS QUI TOURNENT !

Pour cela, son équipe a eu l'idée d'approximer chaque filament par un rectangle dans le ciel et d'examiner la lumière de leurs galaxies pour connaître leur mouvement. "D'un côté du rectangle, nous voyons les galaxies s'éloigner de nous, et de l'autre, se rapprocher", décrit Peng Wang. Imaginez un crayon en train de tourner : vous verriez là aussi un côté se rapprocher et l'autre s'éloigner", compare-t-il. Ce phénomène est interprété comme le mouvement des galaxies, suivant un pas de vis invisible, autour de l'axe des filaments qu'elles forment dans l'espace, la matière noire de ces derniers en faisant vraisemblablement autant. "Nous avons ainsi observé la rotation de 17 181 filaments de galaxies", indique Peng Wang. Mais tous les filaments tournent-ils ? "La réponse est subtile, explique Mark Neyrinck. En fait, dans l'espace, tous les objets tournent — ce qui peut paraître contrintuitif, car notre expérience ne concerne que des objets liés au sol et donc immobiles. La question est plutôt de savoir quelle est la vitesse de rotation des filaments." Si celle-ci est lente, il n'est pas sûr qu'elle soit due à un phénomène particulier spécifique aux filaments, mais si elle est rapide, il doit y avoir une raison physique à leur rotation. "Nous ne la connaissons pas", assène Peng Wang. Un point de vue que ne partage pas Mark Neyrinck : "Quand un filament se forme, il attire la matière de son voisinage tout en s'effondrant sur lui-même. L'ensemble de ces

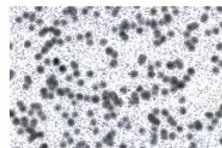
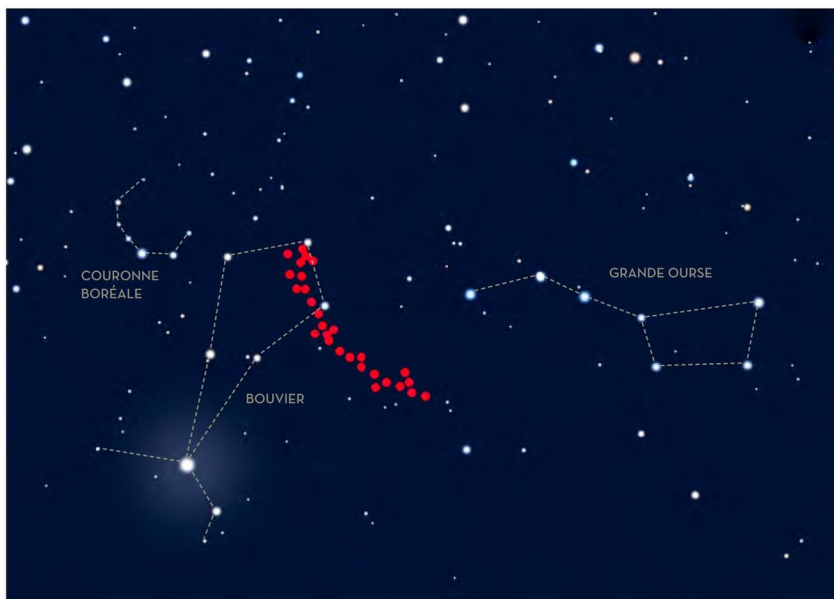
mouvements donne une rotation au filament. Si, peu de temps après le big bang, les filaments ne tournent pas vite, ce mouvement devrait s'accélérer au cours du temps au fur et à mesure qu'ils s'affinent — de même qu'un patineur ramène ses bras le long du corps pour accélérer sa rotation." Une prédiction que de futures observations devront vérifier.

UN GIGANTESQUE ARC DE GALAXIES

Et comme si la découverte des plus grandes structures connues en rotation ne suffisait pas à combler les astronomes, voilà qu'une autre équipe a également mis au jour une des plus grandes structures jamais observées : un arc géant de galaxies situé à 9,2 milliards d'années-lumière en direction de la constellation du Bouvier et qui s'étend sur 3,3 milliards d'années-lumière ! Mais comment peut-on percevoir une structure si gigantesque ? Pour cela, Alexia Lopez a utilisé la lumière de quasars, des galaxies dont l'interaction des trous noirs supermassifs avec les disques de matière qui les entourent émet tellement de lumière que l'on peut les voir à de très grandes distances. Leur lumière traverse ainsi tout l'Univers et, quand elle rencontre une

Pour Mark Neyrinck, la rotation des filaments doit s'accélérer avec le temps, à mesure qu'ils se contractent.
DR





Les données d'observation (au centre) de Roger Clowes et d'Alexia Lopez révèlent-elles un arc de galaxies géant, s'étendant sur 3,3 milliards d'années-lumière dans le Bouvier ? Les deux astrophysiciens en sont persuadés. DR

galaxie sur son chemin, une partie de celle-ci est absorbée (celle correspondant à des raies du magnésium), ce qui permet de détecter la galaxie. *“Je testais cette méthode pour vérifier si elle pouvait nous aider à percevoir de grandes structures, raconte Alexia Lopez. Dans un petit champ du ciel, j’ai remarqué alors une bande dense d’absorption du magnésium. C’est en raffinant les mesures qu’elle s’est révélée être un arc géant de galaxies.”*

Mais la détection d’une telle structure est-elle certaine ? Il faut toujours se méfier. Par exemple, dans la carte du rayonnement de fond cosmologique montrant les inhomogénéités de la matière 380 000 ans après le début supposé de l’Univers (et source de sa future structuration), des équipes ont déjà cru déceler des particularités dues à d’immenses structures qui l’auraient déformée. Mais en 2010, l’équipe de WMAP avait attiré l’attention sur le fait que l’on peut aussi y “détecter” les initiales de

Stephen Hawking, de la même manière que l’on peut imaginer une tête de Mickey en regardant un nuage ! *“Au début, je n’étais pas si sûre de moi, tout en pensant : ‘ça pourrait être quelque chose de génial !’ se souvient Alexia Lopez. Je voulais rester prudente au cas où les tests statistiques ne seraient pas en mesure de confirmer la réalité du Grand Arc. Cependant, plus je faisais de tests qui donnaient des résultats significatifs, plus j’étais excitée. Mon directeur de thèse, Roger Clowes, m’a dit dès le début que c’était une grande découverte ! Depuis que j’ai publié le communiqué de presse, mon arc géant a suscité plus d’intérêt que je n’aurais pu l’imaginer et cela a été une expérience vraiment incroyable et enrichissante.”* Trois tests statistiques différents permettent aujourd’hui à l’équipe d’Alexia Lopez d’affirmer qu’il y a moins de 0,000 3 % de chance que le signal d’absorption constaté dans le Bouvier ait pour cause un simple hasard : le Grand Arc semble bien là !

“Mon directeur de thèse, Roger Clowes, m’a dit dès le début que c’était une grande découverte !”

Mesurant 1/30 de l'Univers observable, il n'est cependant pas sans poser de problème. En effet, l'une des hypothèses sur laquelle repose la cosmologie est qu'à grande échelle, l'Univers est homogène et isotrope, autrement dit le même partout et dans toutes les directions. C'est ce que l'on appelle le principe cosmologique. L'idée est que même si, à petite échelle, on trouve des concentrations de matière telles les étoiles et les galaxies, aux grandes échelles, typiquement 1 milliard d'années-lumière, la distribution de matière paraît lisse telle une pâte à crêpe pleine de grumeaux, mais vue de loin. Or, l'arc géant est quasiment trois fois plus grand que cette échelle. Du coup, remet-il en cause le principe cosmologique ? *“Ce principe s'affaiblit à mesure que de plus en plus de découvertes de grandes structures dépassent l'échelle de l'homogénéité. Nous devrions commencer à envisager des théories alternatives au modèle standard de la cosmologie, ou nous devons étendre ce modèle de manière à ce qu'il ne soit plus fondé sur le principe cosmologique”*, analyse Alexia Lopez.

UN UNIVERS PAS SI HOMOGÈNE ?

C'est l'un des sujets brûlants de la recherche en cosmologie, mais l'abandon de ce principe complexifie énormément les mathématiques décrivant l'Univers et l'interprétation de ses observations. C'est donc un chemin difficile pour qui tente de le comprendre. *“C'est intéressant et amusant que ce ‘sourire cosmique’ [le Grand Arc] soit là, mais nous devons être très prudents dans l'évaluation de ce que cela signifie pour le principe cosmologique”*, commente Mark Neyrinck.

Progressivement depuis les années 1980, les grandes structures sont devenues l'un des tests observationnels de nos théories sur l'Univers au même titre que le rayonnement de fond cosmologique et les supernovas. Elles restent malgré tout difficiles à quantifier, car elles demandent des sondages étendus et profonds du ciel dans lesquels il faut localiser avec précision la matière. Il n'est donc pas étonnant que de nouvelles découvertes aient lieu aujourd'hui et soient de nature à remettre en cause notre vision de l'Univers. Désormais, toute nouvelle simulation de leur formation ne pourra plus ignorer la rotation de leurs filaments sans paraître louche et la découverte du Grand Arc est un caillou supplémentaire dans le jardin du principe cosmologique. La difficulté sera d'être capable d'imaginer des théories de l'Univers suffisamment complexes pour reproduire ces découvertes et les suivantes, mais aussi assez simples pour que l'esprit humain puisse en tirer des prédictions. À défaut de quoi, elles ne seraient que des mathématiques, et non de la science en train de se faire.

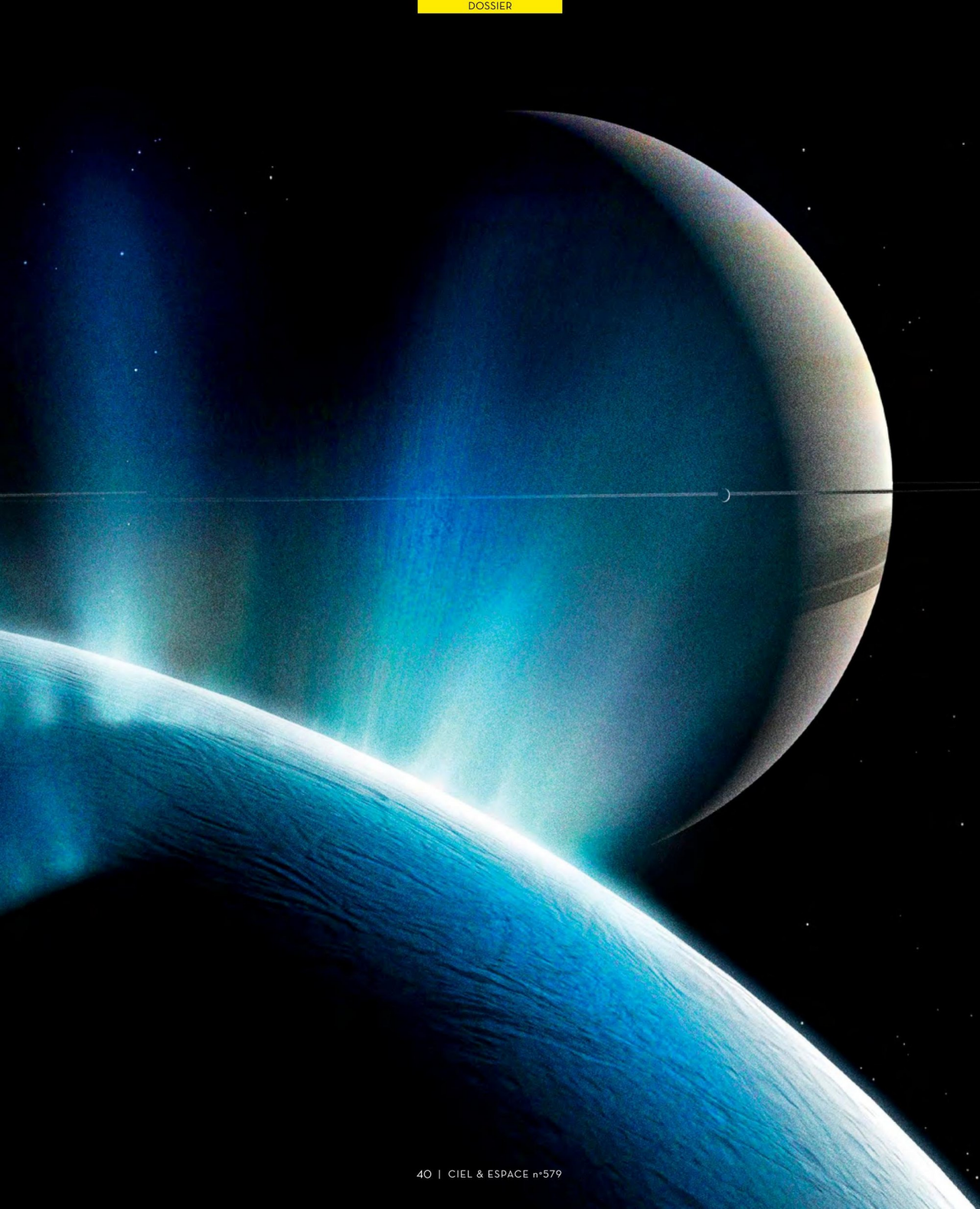
STÉPHANE FAY

LES PLUS GRANDES STRUCTURES DE L'UNIVERS

Depuis les années 1980, des structures toujours plus grandes sont découvertes, repoussant les limites du principe cosmologique. Ainsi, en 1987, le complexe de superamas Poissons-Baleine d'une longueur de 1 milliard d'années-lumière pour 150 millions de large est identifié. La même année, on détecte le Vide Géant, une région sous-peuplée en galaxies large de 1 milliard d'années-lumière. En 1989, c'est au tour du Grand Mur de se dévoiler, un mur de galaxies de 500 millions d'années-lumière de long pour 200 millions de large. En 1991, un amas de 34 quasars d'environ 2 milliards d'années-lumière, le Clowes-Campusano Large Quasar Group, est repéré. En 2003, c'est au tour du Grand Mur de Sloan de 1,38 milliard d'années-lumière de long, puis d'un supervide de 1 milliard d'années-lumière en 2007. On change d'échelle en 2011 et 2013 avec des groupes de quasars de 2,5 et 4 milliards d'années-lumière. Mais le record absolu est atteint en 2013 avec le Grand Mur d'Hercule-Couronne boréale, un filament galactique de 10 milliards d'années-lumière !



Le Grand Mur Hercules-Corona Borealis est la plus grande structure jamais observée dans l'Univers. Cette vue d'artiste a été réalisée à partir des données d'observation. © P. C. Budassi



ENQUÊTE SUR LES MONDES HABITABLES

LA NOUVELLE EXPLORATION DU SYSTÈME SOLAIRE

Les repérages sont faits. Pendant une période que l'on pourrait qualifier de "trente glorieuses" de l'exploration spatiale, entre 1960 et 1990, des dizaines de sondes ont sillonné le Système solaire. Elles ont révélé l'extrême hostilité de ces mondes voisins, au premier rang desquels Mars, que l'on espérait encore habitable, voire habitée... Mais bien au-delà de cette déception, les données récoltées ont surtout dévoilé la richesse des environnements planétaires. Les missions Pioneer, Voyager, Viking et Magellan, pour ne citer que les plus connues, ont révolutionné notre connaissance des sœurs de la Terre. Digérer leur apport a pris du temps. Concevoir les engins qui devaient répondre aux nouvelles questions posées, aussi. Et l'étude détaillée par ceux-ci n'a fait que mettre en évidence une réalité complexe issue d'une histoire aux multiples événements. Les décrypter pouvait apporter des éléments de réponse à une grande interrogation : quels processus ont conduit à l'apparition de la vie sur Terre ? Ces processus, impossibles à étudier sur notre planète, où ils ont été irrémédiablement effacés par la profusion d'activité (la géologie et le vivant), se sont peut-être amorcés ailleurs dans le Système solaire. Sur la Mars d'autrefois, ou sous les glaces d'Europe, un des satellites de Jupiter, ou encore dans les geysers d'Encelade, près de Saturne. Les premiers indices du passage de l'inerte au vivant restent peut-être piégés dans quelque comète ou astéroïde gravitant entre Mars et Jupiter.

Ainsi, ce Système solaire hostile apparaît aujourd'hui comme une immense archive de l'ensemble des processus

qui conduisent à la formation des planètes. Et pourquoi pas, de la vie. Non seulement il peut renseigner les scientifiques sur ce qui s'est passé sur Terre, mais il peut aussi leur indiquer d'autres voies qui auraient éventuellement été fertiles sur les innombrables exoplanètes détectées autour d'autres étoiles. Les futures sondes que les agences spatiales viennent de sélectionner pour poursuivre l'exploration entamée dans les années 1960 partiront donc en quête de ce Graal qu'est l'apparition de la vie dans l'Univers. Même si bien d'autres questions seront à élucider en chemin, leurs instruments seront majoritairement braqués vers cet objectif. Pendant que l'étude approfondie de Mars se poursuivra (avec un premier retour d'échantillons prévu au début des années 2030), EnVision, DaVinci et Veritas s'envoleront vers l'enfer de Vénus, qui a pu, naguère, ressembler à la Terre primitive. Psyché et Lucy iront découvrir les troyens de Jupiter qui se sont probablement formés très loin du Soleil. Deux sondes, Juice et Europa Clipper, vont aller étudier de près Europe et les autres lunes joviennes afin d'en savoir un peu plus sur leurs océans sous-glaciaires. Dragonfly prolongera l'exploration de la fascinante Titan et de sa chimie frigorigène et complexe, autour de Saturne. Plus tard, Uranus et Neptune, prototypes répandus d'exoplanètes, auront aussi leur mission. Tout comme les corps glacés au-delà de Pluton, dont New Horizons poursuivra l'étude. Cette armada qui décollera au fil des ans promet son lot de découvertes, voire de révolutions.

PHILIPPE HENAREJOS

* Les geysers d'Encelade, satellite de Saturne, trahissent la présence d'un océan sous ses glaces. © M. Garlick

CAP SUR LES PLANÈTES GÉANTES ET LEURS MONDES GLACÉS

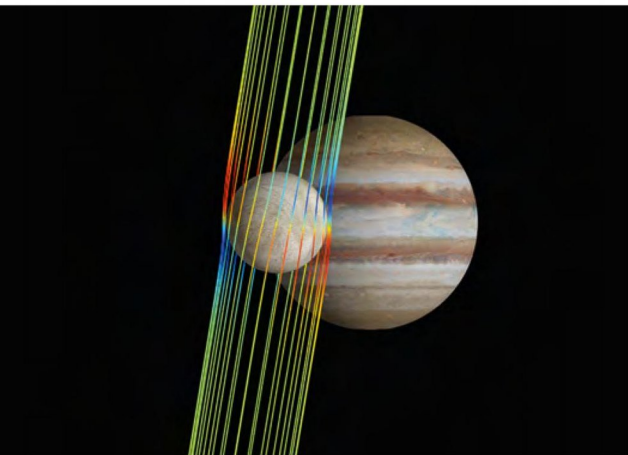
Le Système solaire externe, où règnent les planètes géantes, connaît des températures frigidifiques. Mais, dans ce désert de gaz et de glace, des satellites comme Europe autour de Jupiter ou Titan autour de Saturne pourraient être des oasis. Plusieurs missions se préparent vers ces destinations. Encore plus loin du Soleil, Uranus et Neptune attendent d'être à nouveau visitées.

Juice et Europa Clipper vers Jupiter

L'une s'appelle Juice, l'autre Europa Clipper. La première est une sonde de l'Agence spatiale européenne (ESA), la seconde de la Nasa. Toutes deux exploreront le système de Jupiter vers 2030. Ces deux missions sœurs (elles ne formaient au départ qu'un seul projet) vont étudier en particulier trois des satellites qui accompagnent la plus grande planète du Système solaire : Europe, Ganymède et Callisto. Des mondes qui pourraient abriter des océans intérieurs. *“Cette possibilité bouscule complètement notre vision des fron-*

tières de la zone d'habitabilité dans le Système solaire !” se réjouit Athéna Coustenis, astrophysicienne à l'observatoire de Paris-Meudon, qui a suivi ces missions depuis leur origine. Juice et Europa Clipper ne sont pas pour autant des jumelles. Comme c'est la première fois que l'ESA envoie un engin vers Jupiter, Juice (Jupiter Icy Moon Explorer) va commencer par étudier la planète géante, son atmosphère, sa magnétosphère, avant de se consacrer à Ganymède. Côté américain, il y a déjà eu la mission Galileo, achevée en 2003, puis Juno, actuellement autour de Jupiter. Ainsi que son nom l'indique, Europa Clipper se focalisera sur Europe, qu'elle survolera environ cinquante fois, en s'approchant jusqu'à 25 km de la surface.

Les deux sondes seront néanmoins complémentaires. Elles exploreront chacune les trois satellites et des synergies sont envisagées entre les programmes. Par exemple, pour l'étude de Callisto. Il y a beaucoup d'interrogations sur la structure interne de cet astre au sol complètement cratérisé, mais qui recèle à coup sûr des indices sur l'histoire et l'évolution des lunes joviennes. *“Ces mondes peuvent être vus comme des petites planètes d'un système miniature centré sur Jupiter”*, souligne Gabriel Tobie, chercheur à l'université de Nantes. Ganymède est le plus grand satellite du Système solaire. Il est même plus gros que la planète Mercure et possède son propre



Le champ magnétique d'Europe (du rouge au bleu selon son intensité) est une conséquence de celui de Jupiter (quelques lignes de champ en jaune). © Nasa/JPL-Caltech



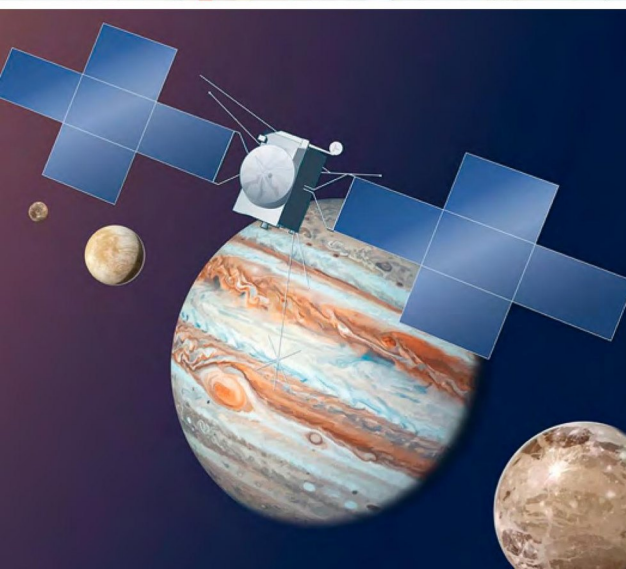
Les lunes
glacées
de Jupiter
peuvent
être vues
comme les
planètes
d'un
système
miniature

champ magnétique ! Plus petit, plus proche de Jupiter, Europe est davantage bombardé par les radiations et les particules accélérées par la magnétosphère de la planète. Afin de préserver ses instruments au maximum, Europa Clipper ne s'insérera pas complètement en orbite. Ces outils, relativement similaires à bord des deux sondes, renseigneront sur la structure interne, notamment grâce à l'étude du champ de gravité et du champ magnétique. Le même type de mesures par Galileo a fourni les premiers indices en faveur de la présence d'océans cachés sous la croute glacée de Ganymède, d'Europe et peut-être de Callisto. En effet : cette couche conductrice d'eau salée, baignée dans le champ magnétique de Jupiter, émet en retour un champ magnétique. D'après

les modèles, l'océan d'Europe serait assez proche de la surface, peut-être 25 km, tandis qu'il serait à une centaine de kilomètres de profondeur sur Ganymède. Juice et Europa Clipper préciseront ces valeurs.

En raison de cette différence, la présence de l'océan a une influence visible à la surface d'Europe. *"Il y existe une diversité géologique"*, acquiesce Elizabeth Turtle, planétologue à l'université Johns Hopkins (États-Unis). En particulier, il y a des terrains dits chaotiques, des zones où il semble que la glace ait fondu puis se soit refigée, sans doute à cause de la remontée de matériau en provenance de l'intérieur, ce qui fait que la surface est ou a été mobile, à l'instar de ce qu'on voit sur Terre en Antarctique. Dans cette sorte de tectonique des glaces, des échanges avec l'océan souterrain pourraient se produire. Galileo a aperçu des matériaux sombres dans ces terrains, associés à des signatures de sels vraisemblablement remontés de l'océan. Il y a encore débat sur la composition exacte, que les caméras d'imagerie et de spectroscopie d'Europa Clipper et de Juice contribueront à éclaircir. *"De plus, l'instrument SUDA d'Europa Clipper récoltera et analysera des grains de matière éjectés de la surface à cause du bombardement de particules subit par Europe, apportant ainsi des informations directes"*, détaille Gabriel Tobie.

Autre différence fondamentale : l'océan de Ganymède se trouverait pris en sandwich entre deux couches de glace. En haut, la surface gelée, et en bas, une épaisseur de glace "haute pression". *"Comme Ganymède est plus gros qu'Europe, l'augmentation de la pression avec la profondeur fait que l'eau peut redevenir solide, même à une température de 50 ou 100 °C. Ce type de glace haute pression n'existe pas sur Terre à l'état naturel"*, explique Gabriel Tobie. Sur Europe, en revanche, l'océan serait directement en contact avec le manteau rocheux. *"Ce contact est très important pour l'habitabilité et l'éventuelle apparition de formes de vie, précise Caroline Freissinet, astrochimiste au Latmos (Laboratoire atmosphères, observations spatiales). Il signifie qu'il pourrait y avoir des échanges d'énergie et d'éléments chimiques, comme sur Terre avec les fumeurs noirs [cheminées hydrothermales au fond des océans, NDLR], qui sont une zone potentielle où la vie a pu apparaître."* Sur Europe, le télescope spatial Hubble semble aussi avoir perçu des jets constitués de vapeur d'eau



Conçue par l'ESA, Juice est une sonde de plus de 5 tonnes qui emporte une dizaine d'instruments scientifiques pour l'exploration des satellites glacés en orbite autour de Jupiter. © ESA

et potentiellement de grains de glace qui pourraient provenir de cette oasis — un peu comme sur Encelade qui orbite autour de Saturne, mais en bien moins évident. La confirmation ou non de ces geysers est très attendue.

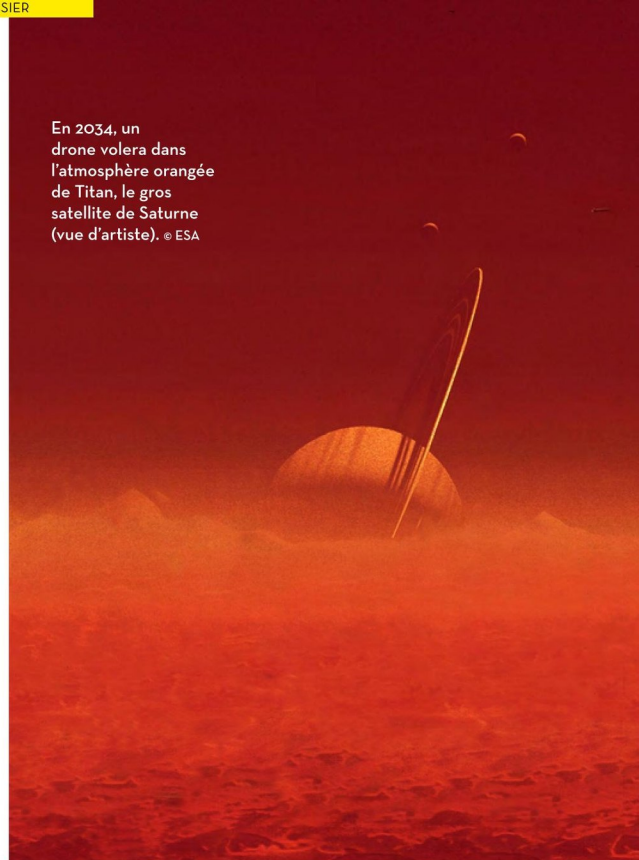
Aux yeux des astronomes, le potentiel d'Europe en termes d'habitabilité semble donc plus grand que celui de Ganymède. Mais ces missions ne permettront pas de détecter d'éventuelles formes de vie, si elles existent ou ont existé dans le passé. Pour cela, il faudra envoyer d'autres sondes. Un des rôles d'Europa Clipper sera d'identifier des sites potentiels en vue d'une future mission embarquant un atterrisseur. Le projet Europa Lander est envisagé par la Nasa, mais n'a pas encore été financé. *“Cela ne nous empêche pas de réfléchir déjà aux instruments nécessaires afin d'être prêts le moment venu”*, sourit Caroline Freissinet. La patience est cependant de mise. Juice et Europa Clipper doivent s'envoler respectivement en 2022 et en 2024 pour une arrivée vers 2030. En attendant, la mission Juno, déjà sur place, vient d'être prolongée et se détourne un peu de Jupiter pour scruter ces lunes-océans...

Dragonfly : retour sur Titan

En 2034, à près de 9 UA ⁽¹⁾ de la Terre, un drôle d'insecte volera dans le ciel de Titan. Son nom : Dragonfly, *libellule* en français. Ce drone de plusieurs centaines de kilos équipé de huit hélices étudiera la potentielle habitabilité du plus grand satellite de Saturne et sa chimie si particulière. *“Titan est unique parmi tous les satellites du Système solaire”*, précise d'emblée Elisabeth Turtle, la responsable de cette mission de la Nasa. Presque aussi gros que Ganymède, c'est par son épaisse atmosphère que Titan se distingue. Composée à 97 % de diazote, la pression s'y élève à 1,5 bar, plus que sur Terre. *“Cette propriété, combinée à la faible gravité, implique que l'on peut faire voler presque tout ce qu'on veut !”* s'exclame Athena Coustenis.

Les particularités de Titan ne manquent pas : il possède également un océan intérieur “à la Ganymède”, c'est-à-dire assez profond et pris entre deux couches de glace, dont une à haute pression. Peut-être des cryovolcans permettent-ils des échanges avec la surface ? *“Dragonfly embarquera un*

En 2034, un drone volera dans l'atmosphère orangée de Titan, le gros satellite de Saturne (vue d'artiste). © ESA



sismomètre, précise Elisabeth Turtle. Grâce à celui-ci, nous espérons détecter des tremblements de Titan qui révéleront l'intérieur et l'activité de la couche de glace.”

En surface, c'est la chimie qui attire l'attention. Titan connaît un cycle du méthane comme la Terre possède un cycle de l'eau : évaporation, condensation, pluies, et même des lacs, aux pôles. *“Le processus commence dans la haute atmosphère où le méthane et le diazote se dissocient. Les atomes de carbone s'assemblent avec des atomes d'azote pour former des molécules organiques plus complexes, qui tombent ensuite au sol. Jusqu'où cette complexité s'étend-elle ?”* s'interroge Caroline Freissinet. La chercheuse travaille sur l'instrument Drams, qui analysera des échantillons prélevés à la surface par deux petites foreuses situées sur les

Titan possède un cycle de méthane comme la Terre un cycle de l'eau, avec des pluies et même des lacs

patins d'atterrissage de Dragonfly. La poudre récoltée sera ensuite chauffée jusqu'à 600 °C et le gaz obtenu traversera le "chromatographe" qui séparera une à une les molécules afin qu'elles soient pesées et identifiées. L'échantillon pourra également être directement analysé en tirant dessus avec un laser. Le drone-libellule embarquera d'autres instruments comme un spectromètre gamma, une station météorologique, et bien sûr des caméras.

Après son voyage et une descente en parachute dans le ciel de Titan, Dragonfly se posera proche de l'équateur, non loin du lieu où s'était posé en 2005 le module Huygens qui accompagnait la célèbre mission Cassini. Trente ans après cette première, soit la durée d'une année "titanesque",



Dragonfly connaîtra donc la même saison et les données récoltées en 2005 aideront à comprendre le contexte environnemental. Mais, à la différence de Huygens, le drone visitera plusieurs sites sur une distance totale d'environ 150 km en un peu plus de trois ans. *"Comme nous le voyons avec les rovers martiens, la mobilité est essentielle",* souligne Elizabeth Turtle. *"Nous nous rapprocherons progressivement du cratère Selk, situé un peu plus au nord."* L'impact qui a creusé ce cratère aurait pu mettre en contact les molécules organiques de la surface avec de l'eau liquide de l'intérieur, et ce pendant une période prolongée. Énergie, molécules organiques, eau liquide, stabilité dans le temps : tous les ingrédients se trouveraient réunis pour une grande expérience de chimie prébiotique. Dragonfly est conçu pour aller recueillir le résultat de cette manip' grandeur nature. La vie extraterrestre ne sera pas forcément au rendez-vous, même si ce n'est pas exclu. Mais c'est aussi l'occasion d'en apprendre plus sur la façon dont la vie s'est développée sur Terre, car, comme le souligne Caroline Freissinet : *"Titan ressemble à la Terre primitive que l'on aurait mise au congélateur et placée sur l'orbite de Saturne."*

Uranus et Neptune attendent encore

Les systèmes joviens et saturniens sont des mondes en soi qu'on connaît encore mal, alors que dire d'Uranus et de Neptune ? Elles n'ont été approchées qu'une seule fois par une sonde, il y a bien longtemps. Voyager 2 les a croisées respectivement en 1986 et en 1989. *"Il reste énormément d'inconnues sur ces planètes lointaines",* confirme Olivier Mousis, du Laboratoire d'astrophysique de Marseille. Avec un diamètre d'environ 50 000 km chacune, ce sont bien des géantes, mais les scientifiques pensent que les trois quarts de leur masse seraient sous forme de glace, une proportion bien plus élevée que dans leurs homologues de gaz, Jupiter et Saturne. Bien sûr, elles possèdent aussi une atmosphère dense dont la composition est mal connue. *"Déterminer leur teneur en hélium nous aiderait à mieux cerner leur structure interne. Et mesurer les gaz rares et inertes comme l'argon ou le krypton, en comparant ces valeurs avec celles des comètes, permettrait de savoir si ces dernières auraient pu servir de briques de base à Uranus et à Neptune",* poursuit le planétologue.

Pour la chercheuse Elizabeth Turtle, de l'université Johns Hopkins (États-Unis), la mobilité d'un drone comme Dragonfly est un atout décisif dans l'exploration de Titan.

© J. Hopkins APL



Comme le suggère cette image recomposée à partir des données de Voyager 2, Neptune et son satellite Triton gardent encore beaucoup de leurs mystères. La sonde les a survolés le 25 août 1989. À quand la prochaine visite ? © R. Olsen/Nasa

Ces mondes glacés possèdent bien d'autres caractéristiques mystérieuses. Uranus, par exemple, est la seule de nos planètes dont l'axe de rotation est incliné de près de 90° par rapport à l'écliptique, le plan dans lequel elles tournent autour du Soleil. Comme si elle roulait sur son orbite ! Comment cela a-t-il pu se produire ? Et il y a aussi les satellites. *"Des geysers ont été vus sur Triton par Voyager 2 lors de son passage auprès de Neptune. À quoi sont-ils dus ?"* se demande Athena Coustenis. Autre interrogation depuis 1995 et la découverte de planètes autour d'autres étoiles que la nôtre : les "Neptune chaudes" sont courantes parmi ces systèmes stellaires. Elles ont une masse et une taille analogues à celles d'Uranus et de Neptune, mais tournent bien plus près de leur étoile, d'où le qualificatif de *chaudes*. Il est donc d'autant plus intéressant d'aller explorer nos géantes de glace pour en apprendre davantage sur ces astres lointains.

"Hélas, aucune mission n'est encore actée", soupire Olivier Mousis, qui a travaillé sur des scénarios possibles

pour l'ESA. Le plus probable serait un engin qui larguerait une sonde de rentrée atmosphérique au cœur d'Uranus ou de Neptune. Ce projet se fera forcément avec la Nasa. L'agence américaine maîtrise notamment la technologie des piles nucléaires indispensable au fonctionnement d'instruments si loin du Soleil. Or, le temps presse pour bénéficier d'un alignement de planètes favorable au lancement. *"Il y a une fenêtre vers Uranus entre 2032 et 2034. Si on la rate, cela repousse à longtemps. Les lanceurs lourds comme la fusée SLS faciliteront peut-être les choses, mais il y a beaucoup d'incertitudes sur la date où ils seront prêts."* C'est aussi une question de financement, le prochain rapport "Decadal" de la Nasa donnera l'ordre de priorité pour les explorations futures. Réponse en 2022.

SYLVAIN GUILBAUD

(1) Unité astronomique ; 1 UA équivaut à la distance moyenne Terre-Soleil, soit environ 150 millions de kilomètres.

FRANÇOIS FORGET

“LES DÉCOUVERTES NE FONT QUE COMMENCER !”

Formation des planètes, océans cachés, apparition de la vie sont autant de questions auxquelles la nouvelle vague de sondes spatiales doit nous aider à répondre. Et pour le planétologue François Forget, il y aura forcément des surprises... Voire des révolutions.



François Forget est directeur de recherche au CNRS et membre de l'Académie des sciences. La diversité des mondes dans le Système solaire montre “beaucoup de beauté”, estime-t-il. © Sorbonne Université

Malgré des dizaines de sondes déjà envoyées à la rencontre des planètes, les scientifiques attendent beaucoup de découvertes des missions qu'ils vont lancer au cours des dix prochaines années. François Forget, spécialiste de l'exploration du Système solaire à l'Institut Pierre-Simon Laplace, fait le point des connaissances, explique la stratégie utilisée et identifie les prochains objectifs.

Après plus d'un demi-siècle d'exploration du Système solaire, la phase de découverte est-elle terminée ?

François Forget : Évidemment non ! La raison en est que les différentes planètes, les différents satellites — et il y en a beaucoup —, voire les différents petits corps, sont des mondes à part entière, avec une énorme diversité et beaucoup d'activité. Et j'ajouterais même, de manière étonnante, avec beaucoup de beauté. Nous avons donc un nombre incalculable de mondes et ce qui frappe après avoir réalisé un repérage du Système solaire depuis cinquante ans, c'est la quantité de choses qu'il reste à découvrir. Chacun de ces mondes comporte son lot d'énigmes. D'abord, nous sommes loin d'avoir regardé de près les différents corps. Ensuite, pour ceux que nous avons bien étudiés, nous avons plus soulevé d'énigmes que répondu à toutes les questions. Ce n'est vraiment que le début.

Justement, les véritables débuts remontent aux années 1960. À l'époque, comment concevait-on les sondes vers les planètes ? Quand on regarde les premières sondes américaines, les Mariner, ce qui est frappant, c'est à quel point elles ont l'architecture des missions



Des sondes Mariner (en haut, Mariner 4) aux missions actuelles (en bas, ExoMars), l'architecture des missions martiennes n'a pas vraiment changé. © Nasa et ESA

actuelles. Quelques ingénieurs, dans les années 1960, ont conçu tout ce qui fait aujourd'hui une sonde spatiale : le repérage, la propulsion, la communication, la puissance... Certaines de ces questions étaient non résolues quelques années auparavant. Par exemple, comment localiser et piloter une sonde ? Encore aujourd'hui la technique est fondée sur l'analyse du décalage Doppler d'un signal radio ultraprécis ; ces ingénieurs, peu nombreux, l'ont inventé en quelques années. Si on compare Mariner 2 et Mariner 4, conçues il y a 60 ans, avec n'importe quelle sonde récente, comme le satellite martien Trace

Gas Orbiter que je connais bien, on retrouve les mêmes systèmes.

Historiquement, pour explorer une planète, on la survolait d'abord, puis on se satellisait autour et enfin on se posait à sa surface. Cette méthode est-elle toujours valable aujourd'hui ? Cela reste vrai. Par exemple, la mission New Horizons n'a fait que survoler Pluton parce que nous n'étions pas capables de nous arrêter. Cela tient au ratio coût/science. Dans le cas de New Horizons, on savait qu'un simple survol donnerait déjà des résultats extraordinaires. Se satelliser autour de Pluton posait beaucoup de problèmes qui



Autour de Saturne, la surface d'Encelade est parcourue de stries profondes qui trahissent un monde actif.
© Nasa/JPL

auraient fait exploser le budget, voire la durée de la mission.

Cependant, y a-t-il un changement d'époque dans l'exploration du Système solaire, maintenant que tous les corps principaux ont été approchés au moins une fois ? On pourrait considérer que la première phase d'exploration s'est terminée avec ce survol de Pluton en 2015. Mais parallèlement, on en était à la énième mission sur Mars... Et il reste à visiter de très nombreux objets, des mondes importants comme Éris ou Makémaké [deux planètes naines au-delà de Pluton, NDLR]. En fait, il y a eu une première vague avec les missions Voyager vers les planètes géantes, le programme martien Viking, ainsi que plusieurs sondes vers Vénus et Mercure. Ensuite, il y a eu une vraie pause tant du côté

américain que russe. Les années 1990 ont marqué la fin d'une première ère de repérage. Une nouvelle étape a débuté avec des missions plus réduites, lancées à la fin des années 1990. Quand j'ai commencé à travailler à cette époque, c'était encore sur les données de sondes anciennes comme Viking ou Voyager. Le sentiment d'un changement d'ère a été très fort dans les années qui ont suivi. Maintenant, nous sommes toujours dans la suite. Tous les ans, nous effectuons de nouvelles découvertes. Nous vivons une ère beaucoup plus riche.

L'exploration se spécialise-t-elle ? Un peu, oui. Il y a un programme martien, un programme vénusien... C'est la même chose pour Jupiter. Mais malgré tout, les astronomes restent "multiplanète". L'une des raisons, c'est que quand on conçoit

une nouvelle mission, il n'existe pas de spécialistes. Ils doivent venir d'ailleurs. Avant le survol de New Horizons, il n'y avait presque aucun spécialiste de Pluton. Pour travailler sur les programmes d'exploration de Vénus qui ont été sélectionnés [lire p. 52], il y a peu de géologues vénusiens. Donc, des géologues martiens vont se tourner vers cette planète. Ainsi que des géologues terrestres.

Comment sont décidées les missions ?

Que ce soit aux États-Unis, en Russie ou en Europe, l'intérêt scientifique prime. Les choix qui sont faits, y compris le retour d'échantillons de Mars, sont l'expression d'une priorité des planétologues. Par exemple, il a été décidé que rapporter des roches martiennes sur Terre était plus urgent que de retourner voir Uranus. Ce processus aboutit parfois à écarter une mission excitante. D'autres fois, ces deux aspects se rejoignent : le drone Dragonfly n'a pas été choisi parce qu'il est spectaculaire, mais parce que c'était le meilleur moyen pour répondre aux questions scientifiques que l'on se pose sur Titan.

Quand les missions Psyché et Lucy, à destination des astéroïdes et des troyens de Jupiter, ont été sélectionnées au détriment de DaVinci vers Vénus sur laquelle je travaillais, je me suis demandé pourquoi. En fait, c'est parce qu'un jury objectif a déterminé que le rapport coût/science les rendait prioritaires : on va répondre à tant de questions sur la formation du Système solaire !

C'est cela, la grande question qui sous-tend l'exploration spatiale ? La formation des planètes ? Cela reste important car il demeure

beaucoup d'inconnues. Et elle a été bien relancée par l'étude des planètes extrasolaires qui a placé le Système solaire au milieu d'un "zoo" dans lequel il semble atypique. Il y a donc une excitation à savoir comment se forment les planètes en général. Le Système solaire représente un laboratoire qui est "sous la main" et qui peut nous permettre de comprendre tout le reste. Il y a d'ailleurs beaucoup de cas dans lesquels l'étude dans le Système solaire a une motivation qui dépasse l'objet parce qu'il y a une résonnance à l'échelle des autres systèmes ou de la vie dans l'Univers. Par exemple, lorsqu'on recherche des traces de vie sur Mars, l'intérêt n'est pas seulement de déterminer si des microbes sont apparus sur la planète rouge. Par contre, le fait de démontrer que dès qu'il y a des lacs et des rivières quelque part, une forme de vie démarre, c'est énorme. Et on n'a pas le moindre début de réponse. Idem pour les océans sur Europe ou Encelade : qu'est-ce qu'il se passe quand il y a de l'eau liquide ? La vie démarre-t-elle systématiquement ou est-ce ultraexceptionnel ? Actuellement, on n'en sait rien du tout. Autre exemple : Uranus et Neptune. Le grand argument pour aller les visiter à nouveau est que, quand on observe les planètes autour d'autres étoiles, on en trouve beaucoup de masse similaire. Pour comprendre ces mondes très lointains, il est intéressant d'étudier les deux qui nous sont accessibles.

L'histoire du Système solaire telle qu'on la connaît aujourd'hui peut-elle être remise en cause par les prochaines explorations ? Il y a beaucoup de choses que



Les écoulements sur les flancs des cratères martiens sont-ils liés à de l'eau ? Le mystère n'est toujours pas éclairci.
© Nasa/JPL/MSSS

nous ne savons pas ! Je m'attends donc à des révolutions. D'une part, il existe certaines étapes dans le scénario classique qui ne sont toujours pas comprises. D'autre part, les nouvelles observations peuvent se révéler incompatibles avec ce scénario "standard", nous montrant ainsi qu'il est faux. On peut avoir l'impression que l'on raconte depuis des décennies la même histoire. En fait, non ! Par exemple, j'ai un gros livre sur Mars qui date des années 1990 dans lequel, bien sûr, il est mentionné qu'il y avait de l'eau autrefois sur la planète, ce qui reste vrai. Mais ce livre est globalement faux ! À chaque page, il y a une affirmation erronée. Idem pour les comètes : l'image de la "boule de neige sale", encore utilisée de temps en temps, n'est plus d'actualité. Les spécialistes qui ont étudié la comète

Churyumov-Gerasimenko avec la sonde Rosetta nous disent : *"Ce n'est pas du tout une boule de neige sale !"*

Que reste-t-il à explorer ?

L'exploration ne fait que commencer. Il y a un nombre incalculable de mondes, soit que nous avons déjà survolés et qu'il faut revoir, soit qu'il faut découvrir. Nous avons affaire à des mondes qui sont tous d'une complexité sans fin. Rappelons-nous qu'avec les sondes Viking, qui avaient cartographié entièrement Mars, on croyait tout comprendre. Et quand Mars Global Surveyor est arrivée en 1997, avec des images d'une bien meilleure résolution, cela a été une révolution. Je garantis que les sondes EnVision, Veritas et DaVinci vont nous apporter d'énormes surprises sur Vénus. Lesquelles ? Je ne sais pas. Mais je suis certain qu'il y en aura.

PROPOS RECUEILLIS PAR PH

UN RETOUR SUR VÉNUS TRÈS ATTENDU

Une nouvelle vague d'exploration débute pour la deuxième planète du Système solaire. Deux sondes américaines et une troisième européenne vont approfondir la connaissance de cette voisine de la Terre.



Le 2 juin 2021, la Nasa a annoncé le financement des nouvelles missions à destination de Vénus, Veritas et DaVinci+, dont le lancement est prévu à l'horizon 2030. Un retour en grâce pour la voisine de la Terre, longtemps délaissée par l'agence spatiale américaine depuis la mission Magellan en 1989. Huit jours plus tard, c'était la mission EnVision qui était sélectionnée par l'Agence spatiale européenne (ESA), avec des objectifs similaires. Certes, depuis Magellan, Vénus a reçu des visites : celles de Vénus Express de l'ESA en 2005, et d'Akatsuki de l'Agence d'exploration aérospatiale japonaise (Jaxa) en 2010. Mais elles marquent la fin de la première vague d'exploration, menée dès les années 1960 avec les sondes russes Venera, les premières à s'être posées sur Vénus. Vient maintenant le temps de répondre aux nombreuses questions soulevées par ces différents vaisseaux automatiques.

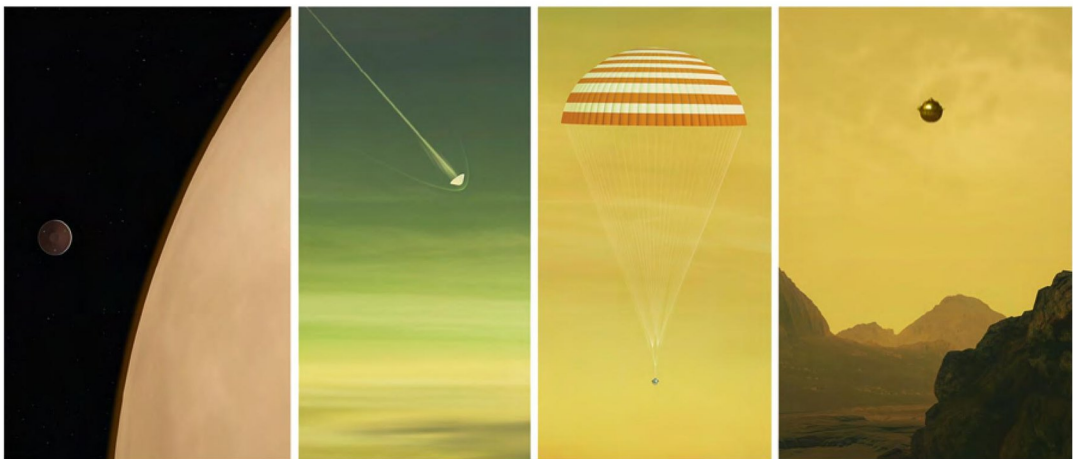
Akatsuki, véritable satellite météorologique japonais, a par exemple révélé les mécanismes à l'origine de la super-rotation de l'atmosphère de Vénus. *“En choisissant une orbite rétrograde proche du plan équatorial de Vénus et en utilisant des imageurs de l'ultraviolet à l'infrarouge, Akatsuki a permis de mesurer le mouvement des nuages avec une précision sans précédent, indiquent Makoto Yoshikawa et Takehiko Satoh, de la Jaxa. La façon dont la surface et l'atmosphère interagissent physiquement et chimiquement n'est toujours pas claire.”*

Vénus Express, quant à elle, a pu observer la surface de la planète. La mission européenne a détecté des anoma-

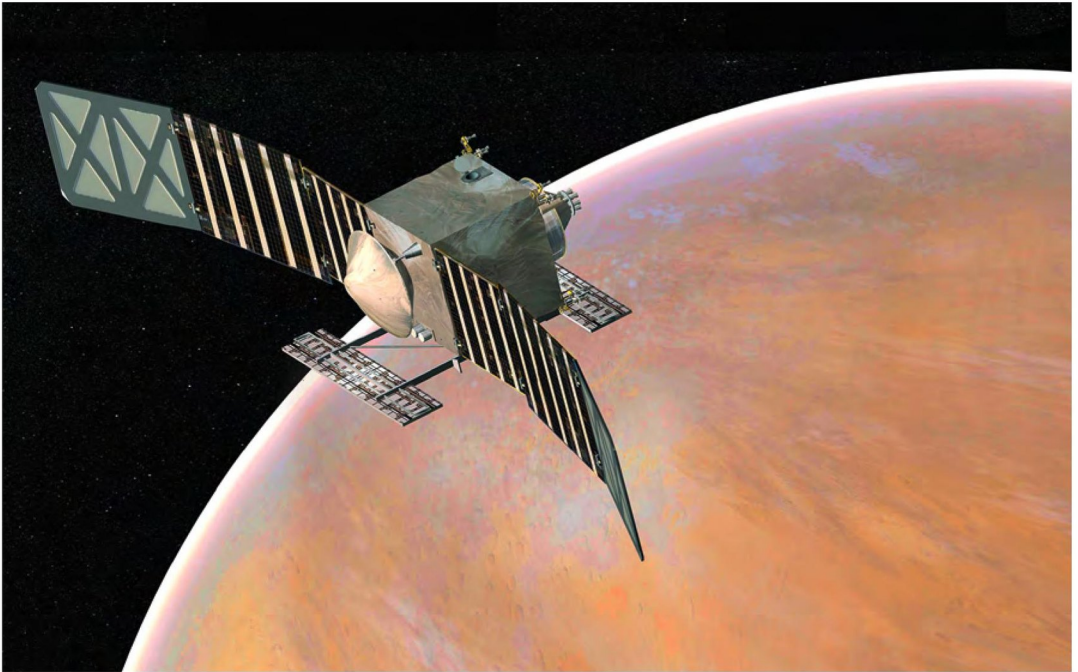
lies potentiellement engendrées par un volcanisme actuel ou récent (quelques centaines de milliers d'années). Il est cependant difficile de conclure sur ce sujet, car les effets atmosphériques nécessitent des corrections complexes, et les coulées de lave se refroidissent très rapidement en surface. L'orbite polaire de la sonde a également permis de noter que la vitesse de rotation de la planète n'était pas parfaitement régulière, mais oscillait.

UN OCÉAN DISPARU ?

Il y a donc un certain nombre de défis à relever pour les deux nouvelles missions de la Nasa. L'un des objectifs principaux est notamment de déterminer si Vénus, de taille similaire à la Terre, a déjà abrité un océan d'eau qui serait aujourd'hui évaporé. Cette hypothèse a été amenée par les mesures de deutérium (isotope lourd de l'hydrogène) présent dans l'atmosphère. Pour cela, DaVinci+ doit plonger dans l'atmosphère de la planète et descendre vers la surface à l'aide d'un parachute et procéder à des mesures in situ. Cela doit également permettre de comprendre pourquoi l'effet de serre de la planète, qui absorbe la moitié des ultraviolets solaires, est si important. DaVinci+ sera ainsi équipée d'un spectromètre balayant les longueurs d'onde de l'ultraviolet au visible, afin de mesurer ce phénomène. Enfin, elle relèvera la composition de l'atmosphère profonde de Vénus. Une opération complexe : *“C'est une mission à haut risque puisque la durée de vie de la mission principale*



Dans les années 2030, la sonde DaVinci+ plongera dans l'atmosphère de Vénus. Une mission périlleuse dans ce monde surchauffé : la durée de vie de la sonde ne sera que d'une heure. © Nasa



Veritas sera chargé de cartographier la surface de Vénus avec une résolution de seulement 30 m, voire 15 m dans certaines zones. Ce sera dix fois mieux que la sonde Magellan (lancée en 1989). © Nasa

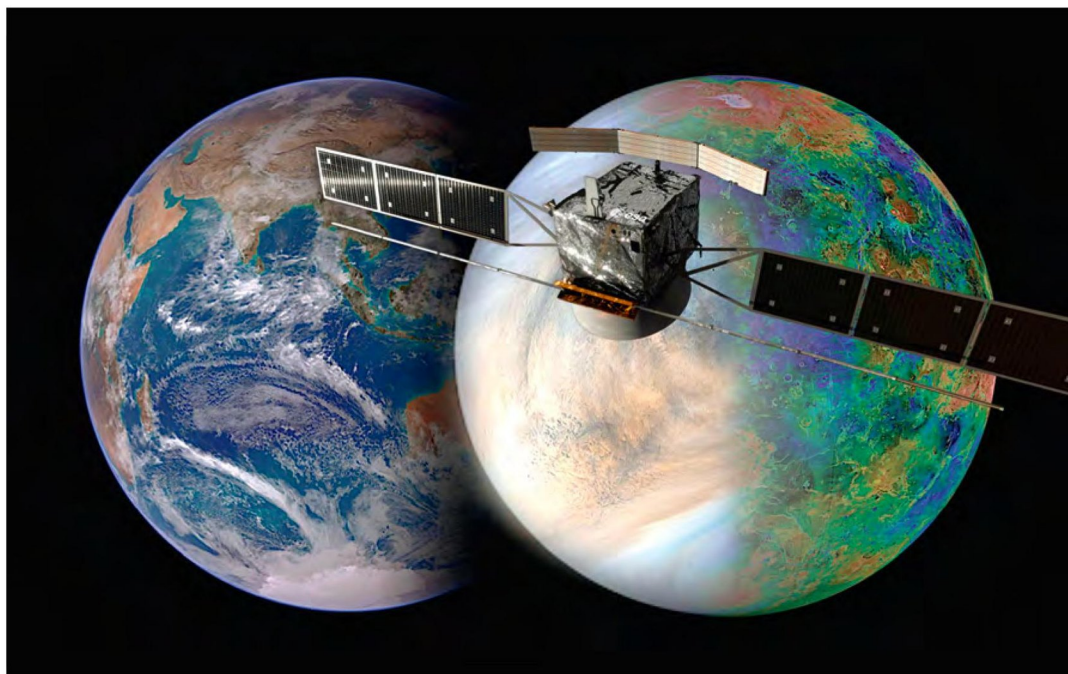
n'est que d'une heure de descente", indique Pierre Drossart, directeur du Lesia (Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique). En effet, la température en surface avoisine les 450 °C, ce qui rend très difficile l'utilisation des instruments. Les missions Venera n'avaient fonctionné que quelques dizaines de minutes au sol à cause de cette contrainte. Grâce à son imageur de descente, la sonde doit aussi envoyer des clichés en haute résolution des *tesse-rae* de Vénus, sortes de terrains fracturés en forme de tuiles, possibles preuves d'une tectonique des plaques.

Mais préparer un atterrissage sur Vénus nécessite une cartographie la plus exhaustive possible de la planète, afin de cibler les sites les plus intéressants. C'est l'un des objectifs de Veritas. La sonde se positionnera en orbite polaire basse, grâce à une méthode d'aérofre-

nage testée à la fin de la mission de Vénus Express, et reconstituera en trois dimensions le relief de Vénus à la recherche de volcanisme ou de tectonique actifs. Sa résolution sera de l'ordre de 15 à 30 m, contre 120 m pour Magellan. Cela permettra également de mesurer l'oscillation de la vitesse de rotation de la planète mise en évidence par la mission européenne.

Équipée d'un radar infrarouge, Veritas doit analyser la composition rocheuse encore méconnue de notre voisine et le possible rejet de vapeur d'eau ou de soufre dans l'atmosphère par les volcans, ce qui est toujours au stade de l'hypothèse. *"Cela pourrait tout aussi bien être des fumeroles bien réparties sur toute la surface. Peut-être que Veritas arrivera à trancher ce débat"*, espère Pierre Drossart. La sonde sera accompagnée d'une horloge atomique (Deep Space

Aucune sonde n'a survécu plus de quelques dizaines de minutes sur Vénus, où la température est de 450 °C.



Sélectionnée par l'agence spatiale européenne en juin 2021, la sonde EnVision doit nous permettre de comprendre pourquoi notre proche voisine Vénus est si différente de la Terre. © ESA

Atomic Clock-2) de pointe : *“Le signal ultraprécis généré par cette technologie permettra à terme de réaliser des manœuvres autonomes d’engins spatiaux et d’améliorer les observations radio scientifiques”*, annonce la Nasa.

DISSECTION DE PLANÈTE

La mission européenne EnVision doit relever des défis similaires avec une certaine complémentarité. Également placée sur une orbite polaire basse, elle s’intéressera à l’histoire de Vénus, ainsi qu’à sa géologie et à son climat actuels. La sonde sera pour cela équipée d’une multitude de radars permettant d’établir une cartographie du champ gravitationnel de la planète, en plus de mesurer sa composition atmosphérique, surfacique et interne. Découvrir la nature du volcanisme et des échanges entre la surface et l’atmosphère de Vénus doit permettre de répondre aux questions posées par les précédentes missions : y a-t-il eu un océan sur Vénus ? Est-elle géologiquement active ? Pourquoi est-elle devenue si hostile ? Si les objectifs ressemblent à ceux des missions américaines, EnVision sera

la seule à sonder les profondeurs de l’astre pour comprendre les propriétés de sa croûte, de son manteau et de son noyau. Une véritable dissection de cette planète qui ressemble tant à la Terre, par sa composition et sa taille.

Résoudre tous ces mystères pourrait bien améliorer nos connaissances sur des sujets plus vastes que la planète en elle-même, comme le souligne Pierre Drossart : *“Vénus présente un intérêt énorme pour l’évolution du Système solaire. Pour beaucoup de scientifiques, son atmosphère est probablement un état moyen qui peut ressembler à beaucoup d’exoplanètes rocheuses.”* La Terre pourrait d’ailleurs suivre le même scénario que Vénus dans quelques milliards d’années. En effet, *“les études récentes montrent que l’on a une bistabilité : avec le flux solaire actuel, la Terre pourrait se maintenir aussi chaude que Vénus si elle l’était déjà !”* souligne Emmanuel Marcq, maître de conférences à l’université de Versailles. Ce qui serait possible si notre planète était 5 % plus proche du Soleil. Il est donc utile d’en savoir plus sur l’histoire tragique de notre plus proche voisine.

NATHAN FLORENT

SIX MISSIONS À L'ASSAUT DES ASTÉROÏDES ET DES COMÈTES

Il n'y a pas que les planètes dans le Système solaire ! Une multitude de petits corps, astéroïdes ou comètes, attirent la curiosité des astronomes. Objectif : mieux comprendre la formation des planètes ou l'origine de la vie, rien de moins.

DART - NASA AVANT FÉVRIER 2022

À première vue, Dart semble avoir été conçue par un enfant turbulent. La mission consiste à lancer un projectile sur un astéroïde pour voir ce qui se passe. Tout simplement ! Dans les faits, c'est un peu plus fin, comme le précise Patrick Michel, spécialiste des astéroïdes : *"C'est une mission de défense planétaire. Nous voulons voir si nous sommes capables de dévier un astéroïde qui se dirigerait vers la Terre."* Dart est quasiment prête. Son lance-

ment aurait dû avoir lieu l'été dernier, mais il a été repoussé à cause des retards pris par les équipes en pleine pandémie. Prochaine fenêtre de tir entre décembre et février. Le satellite de 500 kg passera quelques mois en transit avant de foncer sur sa cible lorsqu'elle approchera de la Terre. L'impact est programmé en octobre 2022, avec des corrections de trajectoire en permanence jusqu'à quelques dizaines de minutes avant le choc.

Toute la difficulté tient au choix de cette cible : il faut être sûr de pou-

voir mesurer les conséquences de l'impact. C'est pourquoi Dart visera l'astéroïde Didymos, et plus précisément son satellite Dimorphos. Si Dimorphos est dévié, même un tout petit peu, cet écart sera visible grâce à sa position relative par rapport à Didymos. La même mission avec un seul astéroïde aurait nécessité une observation continue sur des années pour voir si la trajectoire avait bel et bien été changée.

Pour autant, les résultats n'intéresseront pas que les spécialistes de la

En octobre 2022, la sonde américaine Dart percutera Dimorphos, petit satellite de l'astéroïde Didymos (image de gauche). En 2026, la mission européenne Hera, sous la responsabilité scientifique du Français Patrick Michel (au centre), se rendra sur les lieux pour inspecter le cratère et caractériser Dimorphos. Lucy, elle, doit rejoindre l'orbite de Jupiter en 2026 pour étudier six astéroïdes troyens.

© Nasa et Esa



défense planétaire. La mission a aussi une ambition scientifique, assure Patrick Michel : *“Cette collision ressemble à celles qui se déroulent entre les astéroïdes eux-mêmes. Cela peut donc nous aider à mieux construire nos modèles.”*

HERA - ESA - 2024

Si Dart part seule en direction de Dimorphos, une autre sonde ira observer les dégâts quelque temps plus tard. Hera doit arriver sur place d'ici 2026. *“Nous aurions préféré arriver plus tôt, reconnaît Patrick Michel aux commandes de cette mission. Mais après quelques soucis de financement, ça a été repoussé. Ce qui ne change rien à l'importance de cette sonde.”* Hera doit aller observer le cratère laissé par Dart, ce qui donne des informations sur la structure de Dimorphos. Deux petits satellites appelés cubesats qui l'accompagnent s'approcheront également de l'astéroïde pour analyser sa densité et la distribution de sa porosité, ce qui sera crucial pour établir un modèle de

formation pour les astéroïdes doubles. *“L'exigence avant tout, c'est la mesure des résultats de Dart, précise Patrick Michel. Mais Hera présente un intérêt pour de nombreuses communautés scientifiques.”* Les résultats de la sonde seront utiles pour savoir comment se forment les astéroïdes, et comment les dévier si le besoin s'en fait sentir. En attendant, les tests se poursuivent sur la sonde et les cubesats avec des essais d'antennes menés en avril dernier à l'aide de drones.

LUCY - NASA OCTOBRE 2021

Si cette mission porte le nom d'une ancêtre de l'humanité, l'astérolalopithèque Lucy, ce n'est pas par hasard. La sonde américaine part à la rencontre des astéroïdes troyens qui naviguent sur l'orbite de Jupiter, des astres considérés comme les plus anciens vestiges du Système solaire. *“Aucune mission n'est allée explorer en détail les confins du Système solaire,*

raconte Yves Marrocchi, directeur adjoint du Centre de recherches pétrographiques et géochimiques. Et ces astéroïdes pourraient être venus de là-bas, par-delà l'orbite de Saturne.”

Outre ses panneaux solaires qui lui donnent l'allure d'un papillon cosmique, Lucy disposera d'une caméra à haute résolution et de deux spectromètres infrarouges. De quoi analyser en détail la composition des troyens et leur structure à partir de 2027. Ces différents instruments détermineront aussi si de tels astres sont encore actifs. Pour Yves Marrocchi, c'est une nouvelle étape dans leur compréhension : *“Tout ce que nous connaissons aujourd'hui, ce sont les météorites ou des astéroïdes comme Ryugu ou Bennu, uniquement des roches formées dans le Système solaire interne. Lucy nous en apprendra sur ce qui se passe beaucoup plus loin.”* La mission va donc regarder à quoi ressemblent des astéroïdes qui ne se sont jamais approchés du Soleil et qui n'ont donc pas été altérés. Mais



elle doit également valider (ou non) le modèle de migration des planètes et des astéroïdes qui a mené à la structure du Système solaire tel que nous le connaissons aujourd'hui. *"De ce que nous savons des autres systèmes planétaires, le nôtre semble assez atypique, avec des planètes telluriques à l'intérieur, et des géantes gazeuses à l'extérieur. Ce sera l'occasion de savoir pourquoi"*, note Yves Marrocchi.

Pour l'instant, Lucy est en test au centre spatial Kennedy. Sa fenêtre de tir s'ouvre le 16 octobre 2021 et durera trois semaines.

PSYCHÉ - NASA - AOUT 2022

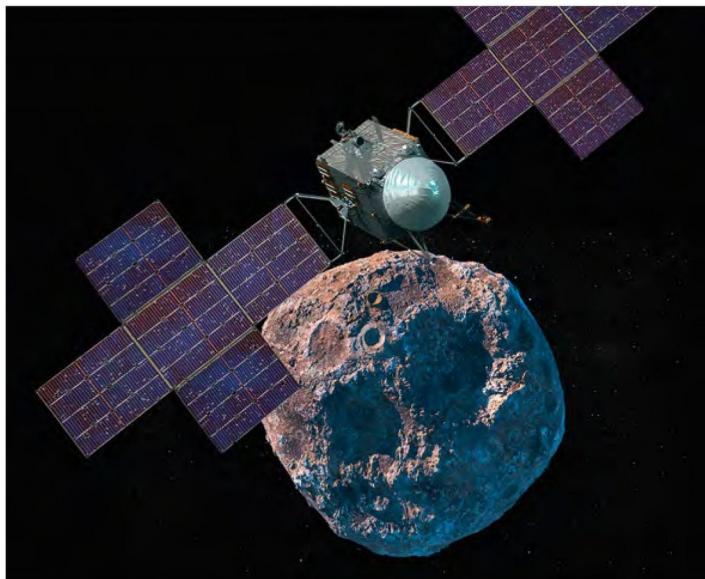
Comme Lucy, la mission Psyché doit révéler les secrets des débuts du Système solaire. Mais en allant observer un astre qui aurait pu devenir une planète : l'astéroïde Psyché. Situé entre Mars et Jupiter, celui-ci a la particularité d'être en grande partie composé de métal. *"Nous pensons qu'il s'agit du noyau d'une planète en formation"*,

précise Yves Marrocchi. Le petit astre aurait donc commencé à accumuler des couches de roche autour de son cœur métallique, avant qu'un choc ne vienne tout détruire, ne laissant que le noyau protoplanétaire. Une théorie pas tout à fait confirmée. Malgré sa taille respectable, près de 300 km de diamètre, l'astéroïde est trop éloigné pour permettre des mesures précises. Et certaines études estiment que le taux de métal dans sa composition n'est pas si élevé, ce qui en ferait un objet bien plus altéré que prévu. Toutefois, même si le taux de roche est supérieur à ce que l'on pense, cela ne change rien au fait que Psyché ait pu être par le passé un noyau de planète en devenir, selon Yves Marrocchi : *"C'est un peu comme si nous allions voir le noyau de la Terre, qui est complètement inaccessible. Nous ne savons pas à quoi il ressemble ni comment il s'est formé."*

Tous les instruments de la sonde sont prêts. La mission en est à la phase où il faut les monter avant

le lancement. Elle emportera un magnétomètre capable de détecter un champ magnétique, ce qui signifierait que l'astéroïde aurait créé par le passé un effet dynamo comme une planète. Plus classique, elle disposera aussi de spectromètres à rayons gamma et à neutrons pour identifier les différents éléments qui forment l'astre. Objectif : retracer l'histoire des différentes collisions que l'astéroïde Psyché a pu subir depuis sa formation, qui pourrait remonter aux débuts du Système solaire.

Par ailleurs, la sonde doit échanger avec la Terre par un système de télécommunication laser. Une technologie jamais testée au-delà de l'orbite lunaire, et qui doit permettre la transmission d'une plus grosse quantité de données. Pendant les vingt mois où elle sera en orbite autour de sa cible, à partir de 2026, elle testera ce type d'envoi de données, ce qui pourrait être utilisé par la suite sur des missions peut-être encore plus lointaines.



COMET INTERCEPTOR - ESA - 2029

Les ingénieurs qui travaillent sur Comet Interceptor sont dans une situation inédite. Ils vont envoyer une sonde à travers l'espace, mais sans connaître sa destination finale. But de la mission : aller à la rencontre d'une comète qui ne s'est encore jamais approchée du Soleil. *"Il nous fallait être prêts, le jour où un tel astre approcherait. Sinon, une fois la cible repérée, le délai pour préparer et lancer une mission est bien trop court"*, justifie Pierre Henri, responsable d'un instrument de la sonde. Comet Interceptor va donc attendre sa "proie" au point de Lagrange L2, un point d'équilibre gravitationnel situé à 1,5 million de kilomètres de la Terre. De là, l'engin pourra s'élancer vers elle grâce à l'assistance gravitationnelle. Mais pourquoi viser une telle comète ? *"Ce sont des comètes primordiales. Elles sont dans le même état qu'à l'époque où elles ont été créées, dans les débuts du Système*

solaire", explique Pierre Henri. En effet, la comète Chury explorée par la mission Rosetta, par exemple, a déjà approché le Soleil, et la chaleur a modifié sa structure, sa composition, et même sa vitesse de rotation.

La cible de Comet Interceptor sera ainsi la première comète à être observée intacte. La sonde va la survoler pour faire un maximum de relevés en se plaçant en orbite à 1 000 km de son noyau. Elle va également larguer des nanosatellites qui l'observeront de plus près. Voir de très près au risque de s'écraser. *"C'est un risque que nous sommes prêts à prendre"*, assure Pierre Henri. *Les retombées scientifiques espérées en valent la peine !"* Les astronomes ont même un espoir fou : tomber sur un corps issu d'un autre système planétaire comme Borisov ou Oumuamua ⁽¹⁾. Dans ce cas de figure, les objectifs seraient revus face à cette chance inouïe. En attendant, les besoins scientifiques de Comet Interceptor ont été établis, mais pas

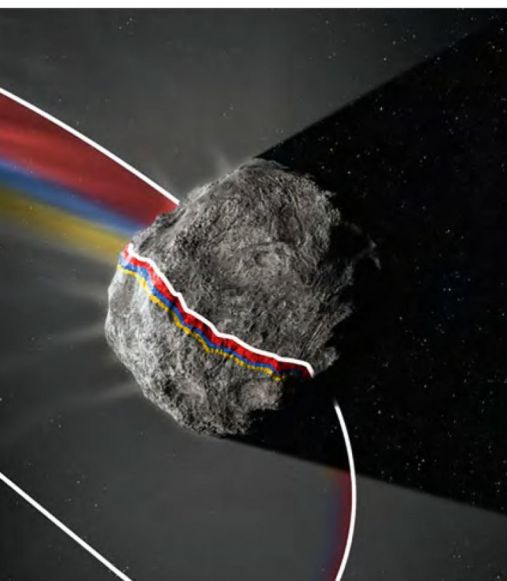
son design qui va commencer à être affiné d'ici 2022.

OSIRIS-REX - NASA - RETOUR EN 2023

Si la plupart de ces missions à venir ont pour but de retracer l'histoire du Système solaire, Osiris-Rex a, elle, un tout autre objectif : trouver l'origine de la vie ! La sonde a prélevé 400 g d'échantillons de l'astéroïde Bennu et doit les rapporter sur Terre en 2023. La précieuse capsule se dirige vers nous en ce moment même. Bennu a la particularité de contenir de l'eau et du carbone, des éléments essentiels de l'apparition de la vie. Ces éléments auraient-ils été apportés sur Terre par des astres tels que lui ? L'analyse des poussières donnera peut-être la réponse à partir de septembre 2023, date de leur arrivée sur Terre.

HUGO RUHER

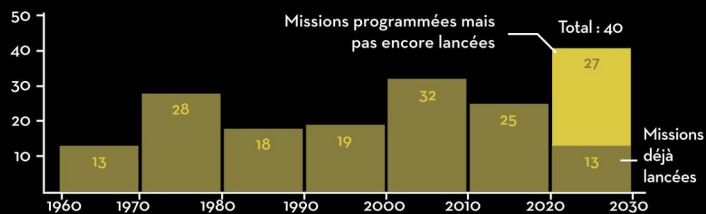
(1) Ces deux objets interstellaires ont traversé le Système solaire respectivement en 2019 et en 2017.



Page de gauche : Psyche atteindra l'astéroïde du même nom en 2026. Elle doit nous permettre, pour la première fois, d'étudier *in situ* le reste d'un noyau planétaire. Comet Interceptor, mission sélectionnée en juin 2019, est conçue pour partir à l'assaut d'une comète venue de loin (au centre). Plus près de nous, c'est en 2023 que la sonde Osiris-Rex rapportera sur Terre les échantillons prélevés sur l'astéroïde Bennu (ci-contre). © Nasa et ESA

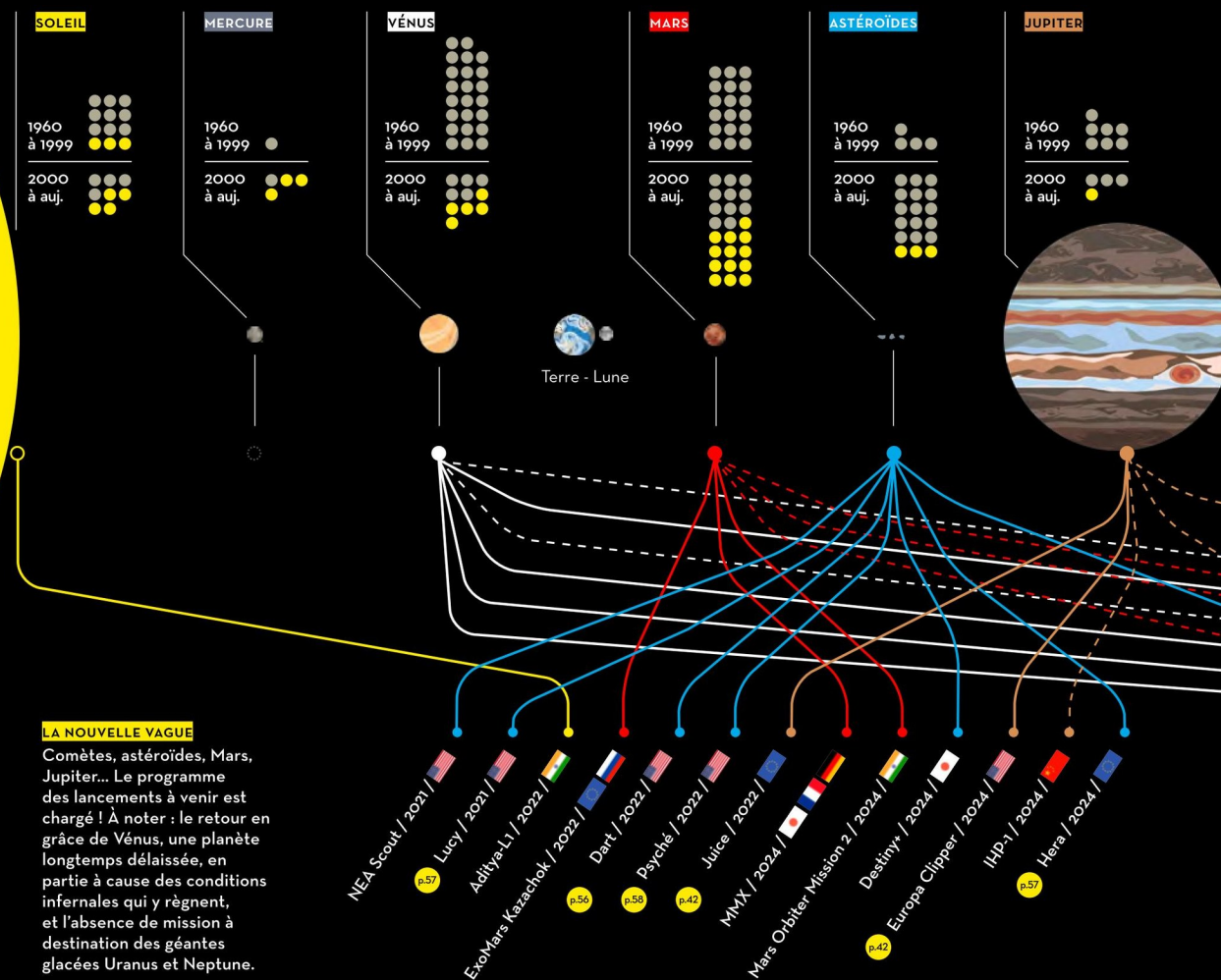
UNE ARMADA DANS LE SYSTÈME SOLAIRE

Depuis les années 1960, grâce à ses sondes spatiales, l'humanité s'est déployée par procuration dans tout le Système solaire. Tous les gros corps célestes ont été visités, et la décennie qui vient promet d'être riche en nouvelles découvertes.



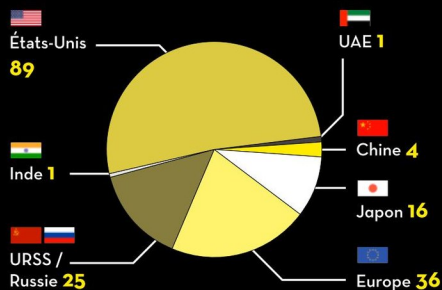
2020-2030 : UN NET REGAIN

L'exploration du Système solaire ne s'est jamais aussi bien portée. Quarante lancements sont prévus dans la prochaine décennie. Un record.



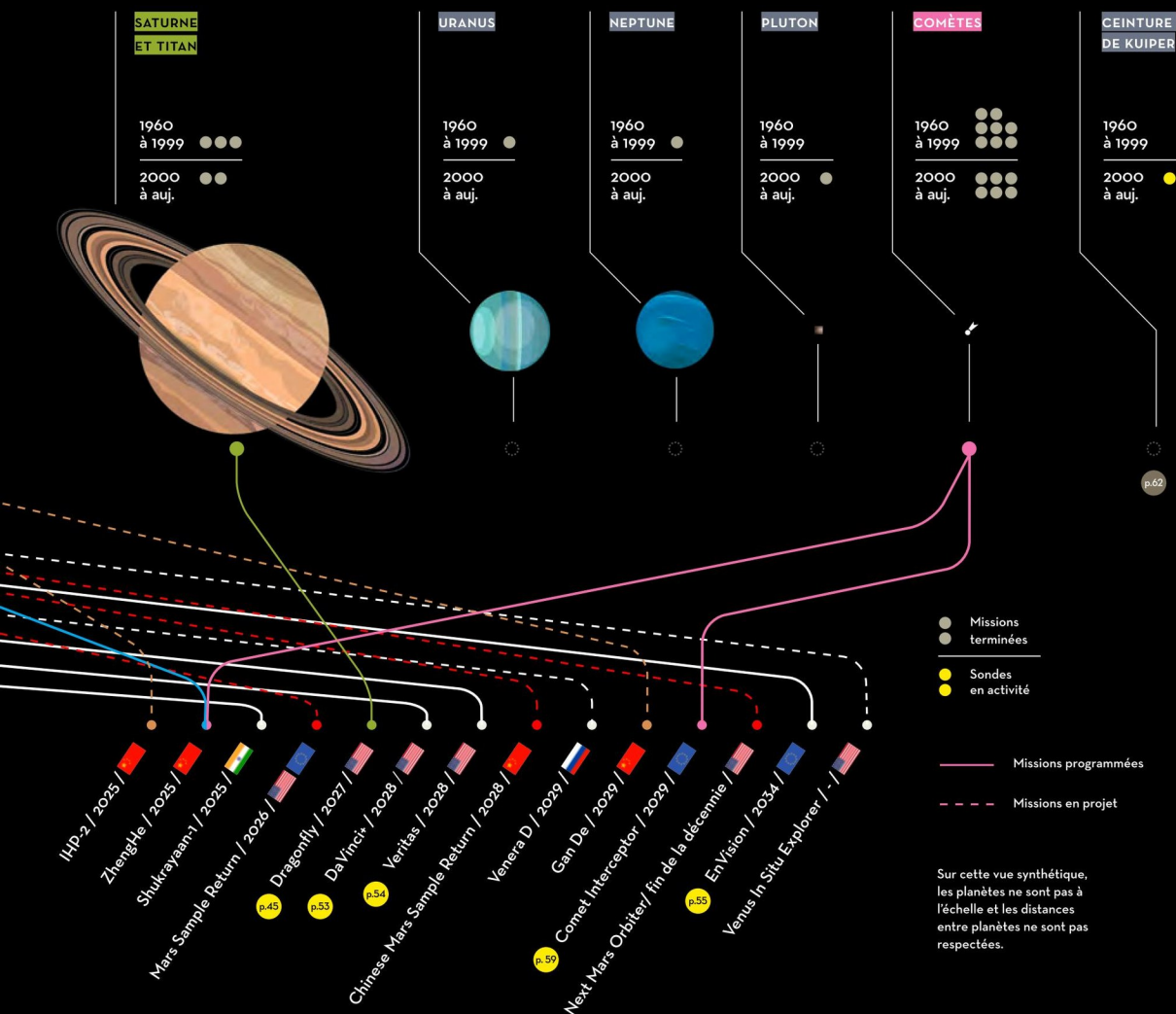
LA NASA EN TÊTE

Les États-Unis ont lancé plus de la moitié des missions réussies d'exploration du Système solaire. Les coopérations sont de plus en plus nombreuses.



LE CAS DE LA LUNE

Nous n'avons pas représenté ici les missions lunaires, qui sont un cas à part à double titre. D'une part, notre satellite est de loin le corps céleste vers lequel nous avons envoyé le plus de sondes. D'autre part, c'est le seul sur lequel des êtres humains se sont posés. Le programme Artemis promet un retour imminent sur la Lune (lire C&E n° 578).



EXPLORATIONS AUX FRONTIÈRES

Au-delà de Pluton, trois sondes sont encore en vie. Tandis qu'elles progressent dans des régions inexplorées de l'espace, d'autres missions spatiales sont envisagées pour retourner dans ces confins du Système solaire.

Quelles nouvelles de l'ultime frontière ? Celle qui sépare le Système solaire et l'espace interstellaire, au-delà des huit planètes ? Là où les distances se comptent en milliards de kilomètres, où le Soleil n'a plus que l'allure d'une tête d'épingle perdue dans le cosmos ? Dans le plus grand froid spatial, depuis son survol de Pluton en juillet 2015, la sonde américaine New Horizons poursuit sa course parmi les objets transneptuniens situés dans la Ceinture de Kuiper. Le 1^{er} janvier 2019, l'un d'eux a été survolé pour la première fois. Les planétologues de l'université Johns Hopkins à Washington ont pu contempler la forme de cacahouète d'Arroth. En

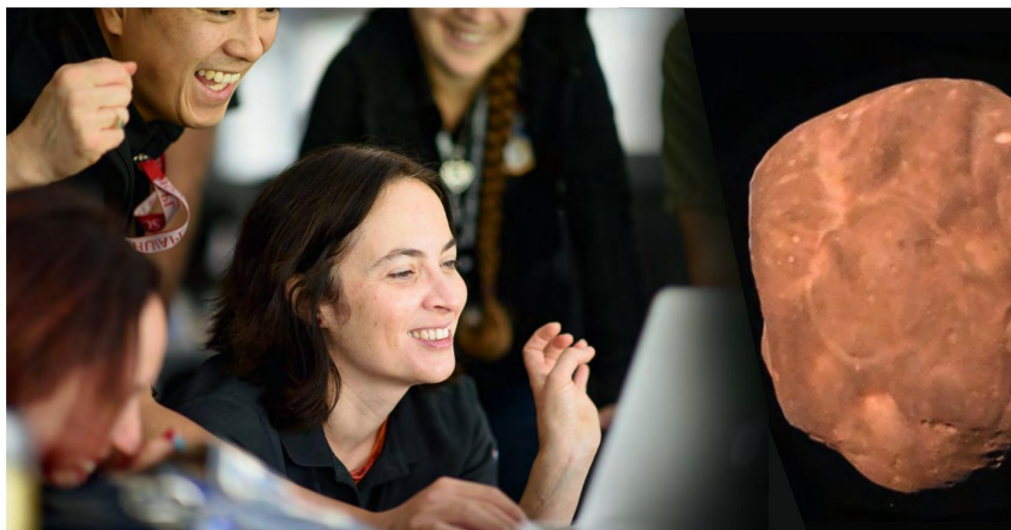
plus d'être la plus lointaine, on sait depuis février 2020 que la surface de ce corps de 36 k est âgée de 4,5 milliards d'années. C'est la plus ancienne jamais explorée. En avril 2021, la sonde de la Nasa a franchi la distance symbolique de 50 UA (soit 50 fois la distance Terre-Soleil) et se cherche désormais une nouvelle cible.

Pour l'heure, aucun astéroïde ou comète dont la course serait compatible avec la sienne, moyennant quelques ajustements de trajectoire, n'a été débusqué. *“Ça va être difficile d'en trouver une. Nous y travaillons en observant l'espace avec New Horizons, mais aussi par des observations terrestres [dont le télescope japo-*

nais Subaru à Hawaï, NDLR]. Pas encore de découverte, mais nous croisons les doigts”, informe Carly Howett, responsable de l'instrument Ralph à bord du vaisseau. Chargé d'assez de plutonium pour tenir jusque dans les années 2030, le générateur thermoélectrique va pouvoir continuer d'alimenter New Horizons qui, profitant de son point de vue unique, décèle des astéroïdes binaires impossibles à séparer lorsqu'ils sont photographiés depuis la Terre. En plus de se retourner sur les planètes géantes, l'engin mesure son environnement, à savoir les particules de vent solaire et le champ magnétique de notre étoile qui, ensemble, constitue l'héliosphère,

Pour fêter le Nouvel An 2019, Carly Howett et ses collègues (ci-contre) ont pu compter sur le survol de l'astéroïde Arroth par New Horizons (au centre). L'engin est actuellement la cinquième sonde la plus éloignée (à droite).

© Nasa



sorte de bulle protectrice qui englobe notre Système solaire.

Au-delà, il n'y a que l'espace interstellaire. Seuls deux vaisseaux y sont parvenus à ce jour ⁽¹⁾. À 153 et 127 UA respectivement, Voyager 1 et 2 fonctionnent encore, bien que lancées en 1977 ! Depuis 2012 et 2018, les sondes jumelles constatent que ce sont les particules en provenance du reste de notre galaxie qui dominent l'environnement autour d'elles. Pas de doute : elles ont bien franchi l'héliopause, frontière où s'entrechoquent vents solaires et interstellaires. Sur Terre, seules trois stations sont capables d'envoyer des commandes à ces engins les plus lointains jamais construits par l'humain. Celles du Deep Space Network, situées à Goldstone (Californie), Madrid et Canberra. Voyager 2 n'est accessible que depuis Canberra, dans l'hémisphère austral. Dans la sphère céleste, la sonde a bifurqué plein sud en 1989 après un survol du pôle Nord de Neptune. Si bien que de mars à novembre 2020, lorsque

l'antenne australienne de 70 m de diamètre a eu recours à quelques rénovations, Voyager 2 n'a reçu aucun ordre en provenance de notre planète. De retour aux affaires, l'engin se trouvait si loin qu'il a fallu 17 heures au signal pour l'atteindre, et autant pour obtenir la réponse de la sonde... Pour Voyager 1, visible depuis l'hémisphère Nord, comptez une distance de 21 heures-lumière, qui croît chaque année de 25 minutes-lumière.

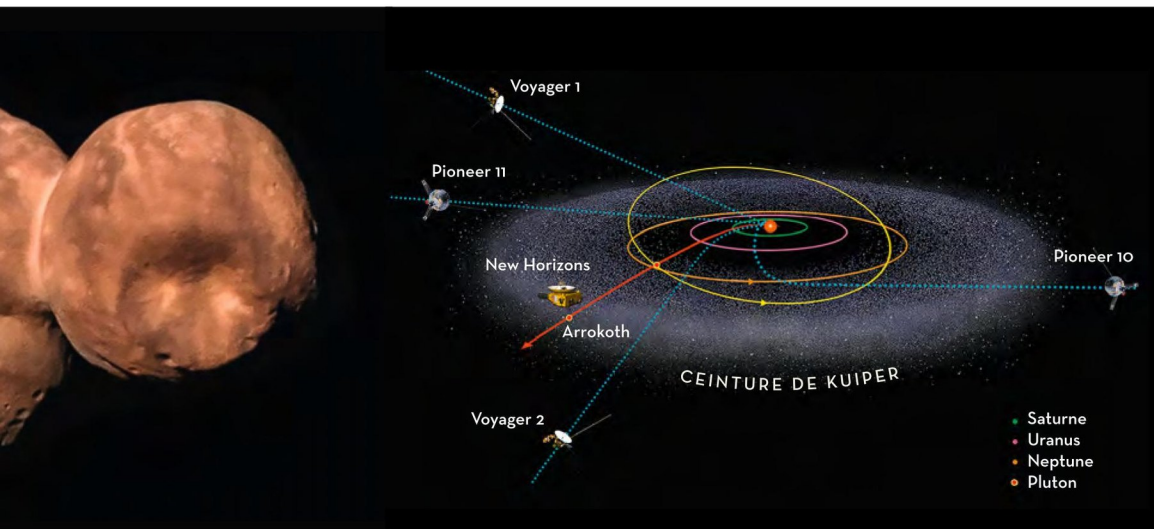
Quelle sera la prochaine sonde exilée dans le Système solaire lointain, voire au-delà de ses frontières ? *"C'est une bonne question, répond Carly Howett. Nous espérons le départ d'une mission de la Nasa au-delà de Jupiter dans les 10 ans. Mais rien n'est encore prévu. Pourvu que ça ne traîne pas car s'y rendre prend du temps. Nous ne serons plus très jeunes quand elle arrivera !"* La future mission se trouve peut-être parmi les centaines de projets soumis au sondage décennal de planétologie et astrobiologie réalisé par l'Académie de sciences américaine, afin de souffler à la Nasa

et la National Science Foundation les pistes scientifiques les plus pertinentes pour les dix ans à venir.

Mais il faudra aussi compter avec la Chine. Fin 2019, un projet comportant deux sondes, Interstellar Express, a été présenté à Pékin. Calquées sur les missions Voyager, mais sans bénéficiaire de l'alignement planétaire qui leur avait permis à elles deux de visiter les quatre planètes géantes, ces sondes devraient être lancées en 2024. Chacune visera une direction diamétralement opposée de l'autre dans le plan du Système solaire, à la manière de Pioneer 10 et 11 en leur temps. La première sonde chinoise survolera Jupiter en 2029, et la seconde en 2033 puis Neptune en 2038. L'une d'elles franchira finalement la barre des 100 UA à la date du centenaire de la République populaire de Chine... en 2049. Tout voyage au long cours se programme longtemps à l'avance.

GUILLAUME LANGIN

(1) Pioneer 10 et 11, aujourd'hui hors service, sont parties plus tôt que Voyager, mais ont été dépassées.



TROIS PAILLETES D'ASTÉROÏDE ARRIVENT EN FRANCE

Expédié depuis l'espace, un colis a été livré à Grenoble. Il contient les premières particules de Ryugu, un astéroïde primitif qui regorge de matière organique.

Tamatebako. Comprenez en japonais *coffre au trésor*. C'est ainsi que la Jaxa, l'agence spatiale nipponne, a baptisé une portion de l'astéroïde Ryugu, à l'endroit précis où sa sonde Hayabusa 2 a réalisé, le 21 février 2019, une première récolte d'échantillons. Le surnom est approprié car la mission a rapporté sur Terre un total de 5,4 g de matière extraterrestre, soit beaucoup plus que le minimum de 100 mg qu'elle s'était fixé. Comme un livreur lancera un colis par la fenêtre de son fourgon, Hayabusa 2 a largué sa précieuse cargaison le 6 décembre 2020 au-dessus du désert australien, avant de poursuivre sa course vers un autre astéroïde qu'elle survolera en 2026.

À l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble (Ipag), le facteur qui se présente vendredi 16 juillet 2021 n'a, lui, rien d'une sonde interplanétaire. Il tient sous le bras un carton arrivé en France par avion. L'adresse de l'expéditeur indique Sagami-hara, une ville dans la banlieue ouest de Tokyo. C'est là que les chercheurs de la Jaxa ont photographié, pesé et catalogué toutes les particules de Ryugu pendant les six derniers mois. Avant d'exporter les premiers échantillons de l'astéroïde vers quelques laboratoires privilégiés. *"Nous avons la chance d'être sélectionnés dans l'une des six PET, pour Preliminary Experiment Teams [Équipes expérimentales prélimi-*

naires]. Sous la responsabilité d'un scientifique japonais, chaque équipe va analyser les premières particules de Ryugu", explique Lydie Bonal, experte en météorites primitives à l'Ipag.

DE RYUGU À GRENOBLE

Son collègue Éric Quirico et elle seront parmi les premiers au monde à pouvoir "toucher" ces particules. Sans savoir à priori quelle quantité de matière leur est parvenue, ils ouvrent la boîte. Entre les chips en polystyrène et le papier bulle, le colis renferme trois petits grains.

Comparés aux 10 kg inscrits sur le carton, les particules semblent minuscules : à peine 1 mm de long pour la plus grande des trois. *"Leur taille est une bonne surprise. Ils sont au contraire très gros !"* commente Lydie Bonal. C'est donc par voie postale, avec un numéro de suivi pour seule sécurité, que les laboratoires s'échangent des roches extraterrestres. *"Il y a toujours une petite inquiétude. Par le passé, il est arrivé que certains cartons se perdent,*

témoigne Éric Quirico. Une fois, j'ai envoyé des météorites à la Nasa qui ont été volées en chemin." Cette fois-ci bien reçues, chacune protégée au centre d'une petite plaque de verre, les particules sont immédiatement entreposées dans la salle de micromanipulation de l'institut, à l'abri de l'air ambiant ou de l'humidité.

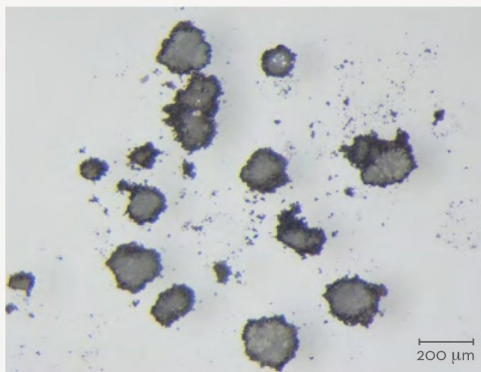
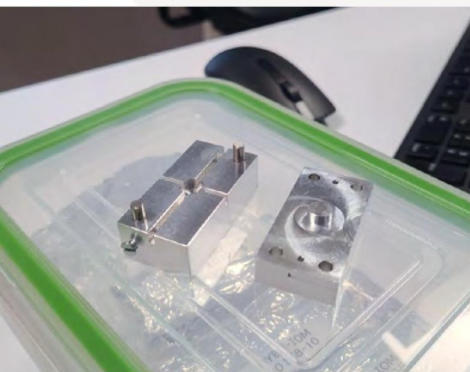
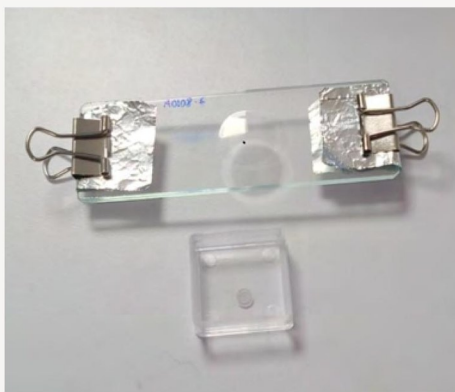


Éric Quirico et Lydie Bonal ont reçu trois particules de matière prélevée à la surface de l'astéroïde Ryugu (en médaillon, p. 64). Ces grains sont parmi les tout premiers à quitter le Japon ! © G. Langin



Chacun de ces grains minuscules au centre d'une plaque de verre sera séparé en plus petits morceaux. Placés sur une petite fenêtre de diamant, ces fragments ne sont visibles qu'au microscope.

© G. Langin



Écrasé au moyen de pièces usinées à cet effet (à gauche), chaque échantillon est analysé ensuite par spectroscopie infrarouge.

Ci-contre, fragments de la météorite de Murchison au microscope.

© G. Langin et L. Bonal

Le passé géologique des astéroïdes peut être complexe, contrairement à ce que suggère leur petite taille

À partir de là, le temps est compté. Ces échantillons ne resteront qu'une semaine à l'Ipag, avant d'être envoyés à l'ENS de Lyon pour d'autres analyses. Objectif : identifier la matière organique⁽¹⁾ présente sur Ryugu. Plus particulièrement sous la forme de macromolécules, longues chaînes de plusieurs centaines d'atomes de carbone. Les astéroïdes du type de Ryugu en foisonnent, tout comme les météorites appelées chondrites carbonées que l'on récolte sur Terre. Ces roches sont considérées comme les plus primitives du Système solaire. Elles sont constituées d'une matière ayant échappé à 4,5 milliards d'années de modifications géologiques que les planètes comme la Terre ont connus.

Lydie Bonal prépare les échantillons pour leur analyse. Minutieusement, elle casse un grain de Ryugu pour en prélever un morceau encore plus petit. Puis elle l'écrase entre deux fenêtres de diamant, pas plus grosses qu'une gommette. Placé dans une petite cellule où le vide est maintenu par les ronronnements d'une pompe, ce brin de matière est chauffé à 80 °C pour que l'humidité à sa surface s'évapore. *"Le microscope permet de choisir la zone que l'on souhaite analyser par spectroscopie infrarouge"*, poursuit Lydie Bonal. Envoyée sur l'échantillon, la lumière infra-

rouge est absorbée par certaines molécules qui se mettent à vibrer à des fréquences précises. *"Cela nous permet d'identifier les éléments de matière organique au sein de l'échantillon."* Sur l'écran d'ordinateur, un spectre a déjà été tracé. Il présente des pics caractéristiques de chaque espèce moléculaire. Ryugu ressemble-t-il aux météorites retrouvées sur Terre ? *"Nous ne pouvons rien divulguer pour l'instant, mais on peut s'attendre à quelques surprises..."* réagit à chaud Éric Quirico, moins de 24 heures après les premières analyses. *"Il y a une grande excitation. À première vue, ça semble bien différent de ce que l'on connaît"*, ajoute Lydie Bonal.

Mesurer les différences entre cette récolte quasi unique — seules les sondes Stardust et Hayabusa 1 sont déjà revenues d'un astéroïde ou d'une comète — et les dizaines de météorites que l'équipe de Lydie Bonal manipule chaque année, voilà tout l'enjeu de ce travail. Ryugu, à lui seul, servira, d'étalon à toute une collection de météorites. Il devrait permettre de savoir à quel point celles-ci ont été altérées par leur traversée de l'atmosphère ou leur long séjour sur le sol avant d'être récoltées. *"En matière de météorites, il y a les trouvailles et les chutes, détaille Lydie Bonal. Les trouvailles sont les pierres que l'on trouve par hasard, dans*



Au total, Hayabusa 2 a rapporté 5,4 g de matière (ci-dessus). François-Régis Orthous-Daunay, Cédric Wolters et Véronique Vuitton pistent l'origine du vivant dans ces grains minuscules. © Jaxa et G. Langin



un désert par exemple. Les chutes sont les météorites que l'on voit tomber du ciel et que l'on récolte juste après. Elles sont relativement fraîches, car pas encore modifiées par la pluie ou le vent. Mais avec Ryugu, il n'y a pas eu de traversée de l'atmosphère terrestre : on ne peut pas faire plus frais !"

UNE HISTOIRE FASCINANTE

En prime, la récolte d'Hayabusa 2 doit permettre de dessiner le passé des astéroïdes. "Par leur petite taille, on pourrait penser qu'ils n'ont pas eu d'histoire géologique spécialement intense, mais celle-ci peut être complexe et fascinante", souligne Éric Quirico. Avant de devenir inertes, à quel point ont-ils chauffé, et par quel biais ? Radioactivité en leur cœur, successions d'impacts ou simple chaleur du Soleil ? "Le carbone et l'eau qu'ils contiennent sont de bons traceurs pour remonter le fil de cette histoire." Sans compter sur ce que les planétologues appellent le "jardinage régolithique". Autrement dit, le bombardement constant de micrométéorites qui laboure la surface poudreuse de Ryugu. À cet effet, Hayabusa 2 a réalisé une seconde récolte plus en profondeur : dans un cratère que la sonde a creusé en tirant un projectile sur Ryugu. "Nous recevrons d'autres grains issus de cette autre collecte dans quelques jours", ajoute Lydie Bonal.

Quant à la recherche de briques élémentaires de la vie, que l'on pense constituées de matière organique ? C'est à ce thème que s'attèle un second groupe de l'Ipag, membre d'une autre PET [au total, l'Ipag participe à 4 PET]. Cette équipe traque des molécules organiques plus petites, extraites des échantillons de Ryugu au moyen de solvants. Si elle ne peut pas encore manipuler ses propres échantillons, elle en reçoit déjà les mesures effectuées au Japon. "Nous avons récemment montré à partir de la météorite de Murchison, une chondrite carbonée qui fait office de standard et dont nous disposons de 1 g de matière organique soluble, qu'il n'est pas difficile pour des molécules protocellulaires de se former dans le disque protoplanétaire", expose François-Régis Orthous-Daunay. Autrement dit, au sein du matériel primitif qui se trouvait autour du Soleil avant que les planètes ne s'y forment, serait apparus des acides gras capables de former des petits compartiments, dont les membranes peuvent échanger avec le milieu extérieur. Une première ébauche de cellules biologiques... Ryugu renferme-t-il les mêmes joyaux scientifiques ? De Grenoble à Tokyo, la chasse au trésor commence.

GUILLAUME LANGIN

(1) Matière composée de carbone, qui peut être insoluble (centre d'intérêt de la 1^{re} PET de Grenoble) ou soluble (2^e PET). La matière organique soluble est celle utilisée par la chimie du vivant.

Ciel &
espace^{TV}

DÉCOUVREZ
CIELETESPACE.TV/FR/HOME

La chaîne VOD qui rend l'univers
accessible et passionnant !

- Podcasts et documentaires en illimité
- Sans engagement
- Sans publicité

4,99 €
par mois

Embarquez avec nous à bord
d'un voyage époustouflant
à travers le temps et l'espace.

<https://www.cieletespace.tv/FR/home>

Ciel & Espace vous propose des contenus exclusifs et la sélection des documentaires les plus passionnants, qu'ils soient intemporels ou en lien avec l'actualité : de notre système solaire aux théories cosmologistes, en passant par l'exploration spatiale et l'observation de la voûte céleste. C'est une invitation au voyage dans l'espace, mais aussi dans le temps ! Avec tous les mois, de nouveaux contenus originaux.



© B. Davies

FUSIONS DE GALAXIES SOUS L'ŒIL DE HUBBLE

Les collisions sont des étapes importantes dans la vie des galaxies. Elles les font évoluer brutalement et provoquent la naissance de nombreux amas d'étoiles. Grâce à l'exquise acuité du télescope spatial Hubble, les astronomes peuvent étudier en détail les plus proches d'entre elles.

DAVID FOSSÉ

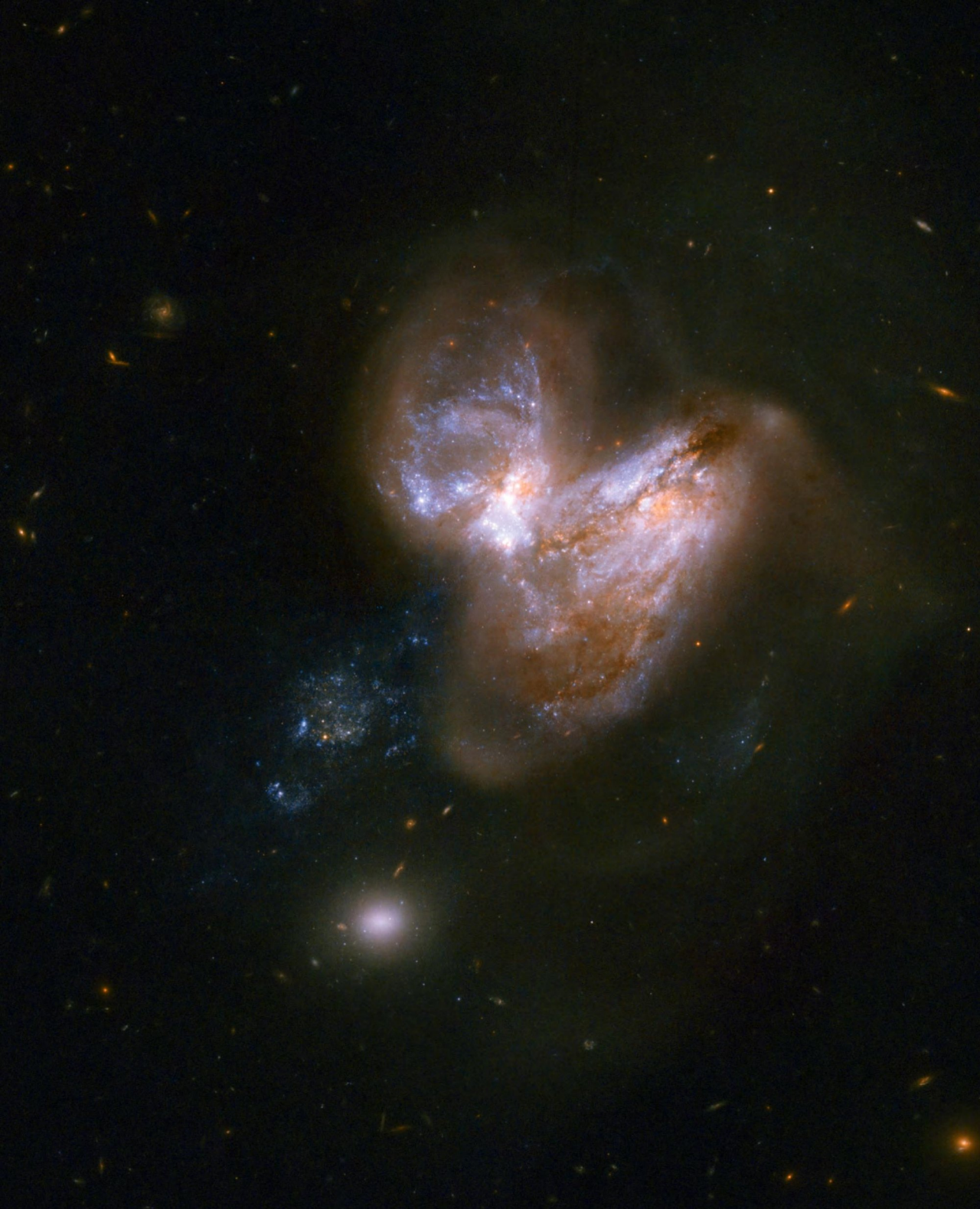
SCÈNE DE MÉNAGE À TROIS

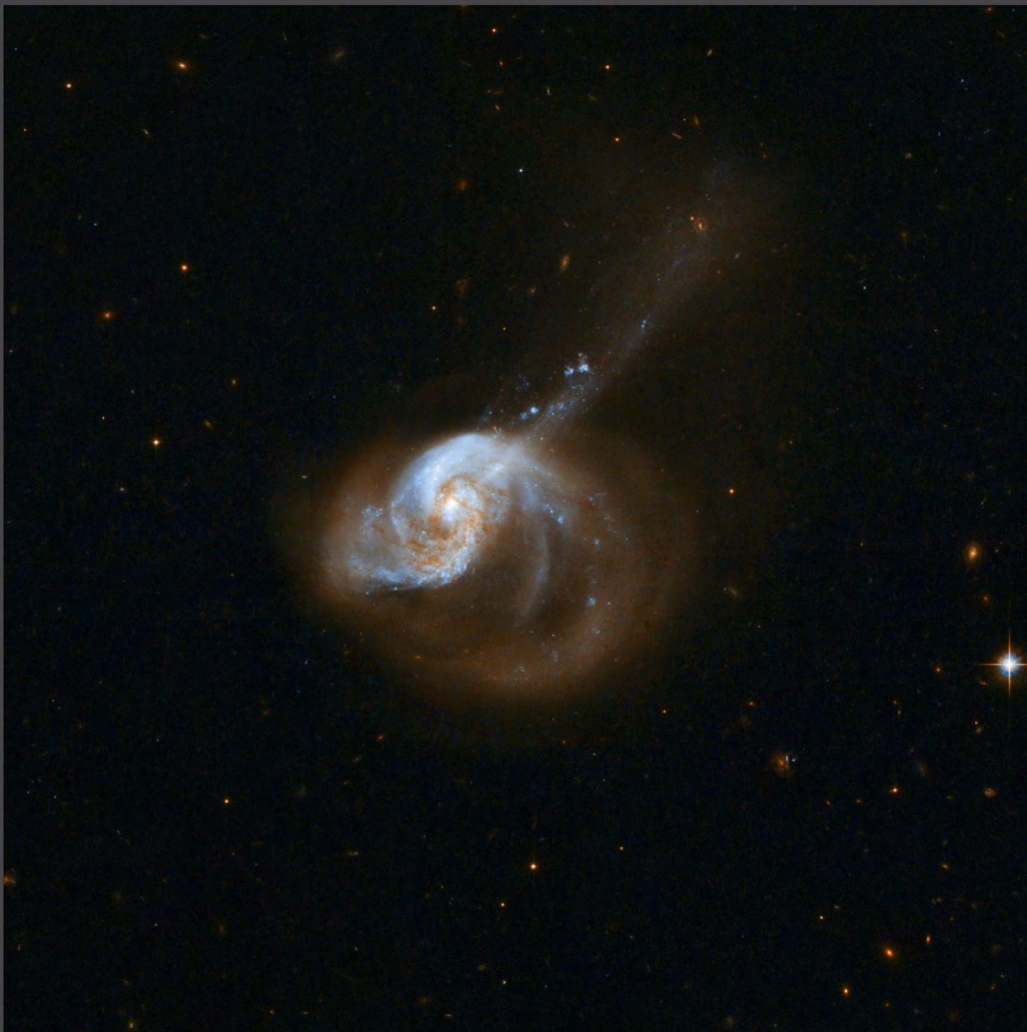
Arp 195 est un triplet de galaxies en collision. Cet imbroglio de gaz et d'étoiles est situé à environ 750 millions d'années-lumière de la Terre, dans la constellation du Lynx. C'est le 195^e spécimen recensé dans l'Atlas des galaxies particulières de l'astronome américain Halton Arp, publié en 1966.

© Nasa/ESA/HST









COLLISION DANS LA GRANDE OURSE

En se percutant il y a 700 millions d'années, les galaxies IC 694 et NGC 3690 ont engendré un épisode de formation stellaire intense, toujours en cours. Plusieurs jeunes amas sont visibles ici (en bleu), mais la zone de formation d'étoiles la plus active reste masquée par les nuages de poussière.

LE BRAS GÉANT DE NGC 1614

À environ 200 millions d'années-lumière dans la constellation de l'Éridan, NGC 1614 héberge dans ses régions centrales des amas stellaires de plus de 10 millions de masses solaires ! Ces structures très massives sont probablement nées d'une collision galactique. Tout comme le bras géant de la galaxie et la structure linéaire qui semble émerger de son cœur.

Photos : Nasa/ESA/HST

FURIE STELLAIRE DANS LA CONSTELLATION DES VOILES

Avec ses vastes nuages de poussière éclairés par d'énormes amas de jeunes étoiles, la spectaculaire NGC 3256 témoigne de la floraison stellaire que connaissent les galaxies lorsqu'elles fusionnent. Elle émet par ailleurs un très puissant flot de gaz moléculaire depuis son noyau, invisible toutefois aux longueurs d'onde que capte Hubble. NGC 3256 se trouve à 100 millions d'années-lumière.

Photos : Nasa/ESA/HST

EFFETS DE MARÉES POUR LA MÉDUSE

Accessible aux astronomes amateurs dans la Grande Ourse, NGC 4194 est parfois appelée la galaxie de la Méduse, en raison de ses deux longs bras d'étoiles qui évoquent les serpents de la chevelure de la Gorgone grecque. Ce sont deux queues de marées, nées de la collision passée avec une petite galaxie.







JEUNE FLAMBÉE DANS HERCULE

NGC 6052 a été découverte en 1784 par William Herschel. Sa forme torturée témoigne à coup sûr d'une collision entre galaxies. Celle-ci a lieu à 230 millions d'années-lumière de distance, dans la constellation d'Hercule. Beaucoup des amas d'étoiles que l'on peut voir sur cette image ont moins de 10 millions d'années.

Photos : Nasa/ESA/HST



FUSION CONSOMMÉE

Deux galaxies ont fusionné pour donner naissance à la belle NGC 34, observable à 260 millions d'années-lumière dans la constellation de la Baleine. L'âge de la plupart de ses amas d'étoiles permet de dater la fin de la collision entre 300 et 600 millions d'années dans le passé.

HAMMAGUIR

LA BASE OUBLIÉE DE L'AVENTURE SPATIALE FRANÇAISE

Qui se souvient qu'avant Kourou, il y eut Hammaguir, fondée en 1947 en Algérie ? C'est dans cette "base secrète" du Sahara, avec le renfort de techniciens et d'ingénieurs du III^e Reich, que la France connut ses premiers succès spatiaux.





Véronique, la première fusée française, fut lancée depuis le désert algérien. © Cnes/L. Louis, 1967.



Tout le monde est à son poste. Les observateurs installés aux points distants de télémessure, les équipes constituées pour récupérer les débris, et dans le bunker de tir, l'officier qui s'apprête à appuyer sur le bouton de mise à feu. Derrière lui, un ingénieur compte en silence : *"Zehn, neun, acht, ..., drei, zwei, eins, jetzt !"* La fusée s'élance vers le ciel. Le grondement fait se lever la tête des gazelles sur l'immense plateau désertique. Nous sommes le 22 mai 1952. La fusée Véronique lancée depuis le champ de tir d'Hammaguir atteint l'altitude de 70 km. Un succès ! Étrangement, sur cette "base secrète" française d'Algérie, on entend beaucoup parler allemand parmi les congratulations qui s'échangent... La base spatiale, qui semble surgir comme un mirage du Sahara, est installée sur un vaste plateau, *hamada* en arabe. L'oued voisin s'appelle Guir. En contractant les deux mots, les Français ont forgé ce nom : Hammaguir. Le site a été créé de toutes pièces quelques années plus tôt, en 1947, après les premiers tirs de fusée à Colomb-Béchar. Les premières Véronique ayant une fâcheuse tendance à aller où elles voulaient, les ingénieurs s'étaient convaincus qu'il fallait construire une base plus au sud, sur un plateau caillouteux.

Dans les années 1950, la "base-vie" d'Hammaguir permet une existence confortable, à une centaine de kilomètres de la "base-guerre" de Colomb-Béchar, où vivent les familles des civils à proximité du Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux (CIEES) et des casernements. Les années héroïques pendant lesquelles il fallait interrompre les essais pendant les grandes chaleurs, prendre garde aux araignées et aux vipères à cornes sont oubliées. Hammaguir dispose de 70 chambres climatisées, d'une piscine, d'un cinéma en plein air, d'un terrain de sport. On a même planté des arbustes dans ce sol ingrat ! Il n'est pas jusqu'à la gastronomie qui manifeste la continuité territoriale entre la métropole et l'Algérie : le boulanger d'Hammaguir cuit son pain comme à Vernon — où le Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques (LRBA) conçoit les fusées — et on sert à la cantine une potée auvergnate sans doute redoutable par une température saharienne !

Cette vie en vase clos est heureusement tempérée par des séjours à Colomb-Béchar, où techniciens et militaires peuvent assister aux concerts de l'orchestre de jazz, se baigner dans les piscines soumises à des horaires correspondant à la hiérarchie des grades, faire une visite dans les inévitables bordels pour soldats, ou aller se distraire "Chez Fifine", célèbre boîte de nuit et maison close où de hauts



La base d'Hammaïr disposait de chambres climatisées. © CIEES



Les familles vivaient à Colomb-Béchar. © CIEES

gradés n'hésitent pas à se produire avec leur accordéon : *"Si tu n'as pas vu Fifine, tu n'as rien vu de Béchar."*

Mais ces ingénieurs allemands, que font-ils là quelques années seulement après la fin de la guerre ? Pour comprendre, il faut remonter le temps. Jusqu'au début de l'aventure spatiale française, encore émaillée de pages blanches et d'oublis. A-t-elle un début, cette aventure ? Disons qu'elle commence comme dans le roman de Jules Verne, *De la Terre à la Lune*, quand le jeune officier d'artillerie Jean-Jacques Barré et son mentor visionnaire, l'ingénieur et constructeur d'avions Robert Esnault-Pelterie, rêvent de voyage spatial à la fin des années 1920. Comme les personnages "incomplets" de Jules Verne, Esnault-Pelterie porte sur son corps les marques de dangereux essais : une explosion lui a emporté quatre doigts d'une main. Le jeune artiller Barré imagine à cette époque un "obus-fusée" dont la vitesse et la portée doivent dépasser de loin celles d'un obus ordinaire. Mais les experts de l'artil-

lerie jugent le projet de Barré sans intérêt et le renvoient à sa commission des poudres. Contrairement aux nazis qui prennent très au sérieux la *Verein für Raumschiffahrt*, l'Association allemande pour le voyage dans l'espace qui vient de lancer une petite fusée jusqu'à une hauteur de 18 m et dont l'un des membres est un certain Wernher von Braun, le père des futurs missiles V1 et V2.

LES RÊVES SPATIAUX DE BARRÉ

Paradoxalement, c'est après la défaite de 1940 et sous l'occupation allemande que Barré peut mener les essais d'une fusée qu'il baptise Éole, ou EA-41. Un énigmatique Service central des marchés et de surveillance des approvisionnements, dont la dénomination innocente dissimule la reconstitution clandestine de la Section technique de l'artillerie, lui passe commande de vingt-deux "gazogénérateurs" imaginaires. Installés dans un atelier du quartier populaire de la Croix-Rousse, à Lyon, Barré et son équipe mènent des essais statiques au fort de Vancie, puis au camp du Larzac. Essais assez encourageants pour qu'ils puissent envisager un essai en vol. C'est impossible en métropole, même en zone libre, mais le polygone de tir de Béni-Ounif, en Algérie, donne toutes les garanties de tranquillité. Ce site où l'armée expérimentait des armes chimiques est inutilisé depuis l'armistice. Manque de chance : alors que fusée et pas de tir sont en cours d'acheminement vers Oran en novembre 1942, les Alliés débarquent en Afrique du Nord et les Allemands envahissent la zone libre. En morceaux de part et d'autre de la Méditerranée, Éole ne peut pas s'envoler...

Fin 1943, les Alliés s'inquiètent et veulent en savoir davantage sur les armes secrètes de Hitler, les fameux V1 et V2. On plonge alors en plein roman d'espionnage : Barré, entré dans la Résistance, fait dessiner les plans d'EA-41 par la fille de son adjoint, âgée de 17 ans, et les envoie à Londres sous forme de microfilms. Mais les membres de son réseau sont arrêtés et son chef déporté. Barré lui-même n'est pas inquiété, un de ses supérieurs ayant prétendu qu'il était un mythomane rêvant de vaisseau spatial... Sur une photo prise deux ans plus tard, en mai 1945, l'ingénieur pose devant l'énorme section d'un V2 : en comparaison, EA-41 ressemble à un jouet d'enfant ! Envoyé en mission en Allemagne avec le chimiste Henri Moureu à la base de Peenemünde et à l'usine Mittlewerk du camp de concentration de Dora où étaient assemblées les V2, il découvre, atterré, l'irratrappable avance technologique des nazis. Mais aussi ces tunnels où travaillèrent, vécurent et moururent des milliers de déportés⁽¹⁾...

Comme les États-Unis et l'URSS, la France entend s'approprier la technologie des nazis. Dans les couloirs des



Chevaucher la fusée Véronique ? C'était possible à Hammaguir dans les années 1960. À droite, le poste de commandement pour le lancement de Cora G2 en décembre 1966. © Cnes/D. Godde

hôtels où l'on a regroupé savants et techniciens du Reich, les espions des différentes puissances jouent à cache-cache pour les racoler. Pour les convaincre de travailler pour la France, tous les arguments sont bons. Leur sont proposés des avantages en nature (quatre stères de bois, 4 kg de viande, 400 g de fromage, 15 l de vin), un logement décent, la sécurité sociale, la permission de faire venir la famille, un salaire équivalant à celui des Français... Et pourvu qu'ils soient compétents, peu importe leurs opinions politiques. Sur les fiches individuelles, la case concernée reste vide : rares sont ceux qui avouent avoir appartenu au parti national-socialiste, même si c'était obligatoire quand on travaillait à Peenemünde... L'examen d'entrée consiste à dessiner de mémoire un moteur de V2. Aux ingénieurs, aux techniciens qui ont conçu ces missiles, on demande maintenant de construire de petites fusées pour former les ingénieurs français, ce qui ne manque pas de provoquer leurs moqueries. Ils sont espionnés par des femmes de ménage sarroises



qui rapportent qu'untel a entonné devant elle un chant nazi — sans doute par provocation.

Vainqueurs hier, vaincus aujourd'hui, ils ne sont pas toujours disposés à transmettre leurs connaissances. Puis ils se piquent au jeu et se fondent dans les équipes françaises. Finalement, une soixantaine de familles allemandes s'installent à Vernon, dans le bois de la Madeleine, voisin du LRBA qui vient d'être créé. Elles vivent en autarcie dans des préfabriqués que leurs enfants appellent *Buschdorf*, le village

de la brousse, à la fois surveillées et protégées de l'hostilité de la population. Au début, le car scolaire des "Boches de la Madeleine" est parfois caillassé. Reste que les T. A. (pour travailleurs allemands) apportent une contribution essentielle à la naissance de la fusée-sonde Véronique — Ver(non) (Electr)onique —, puis à celles du lanceur Diamant et même du moteur Viking de la fusée Ariane. Rien d'étonnant donc si, comme le rapporte un ancien du LRBA, "*on entendait beaucoup parler allemand à Hammaguir*". Au Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques, créé en 1946 à Vernon, on concevait, usinait, testait les moteurs au banc fixe. Au Centre interarmées d'essais d'engins spéciaux — notons qu'il n'est là ni question de l'espace ni d'un usage civil des fusées ! — on lançait les fusées et l'on recueillait les données du vol. Comme ce 22 mai 1952 où Véronique est finalement lancée avec succès.

Cette même année, les essais de lancement d'Éole sont un échec et le programme est suspendu. Jean-Jacques Barré continuera ses recherches sur les propulsions nucléaire et ionique. La base d'Hammaguir, elle, s'apprête à prendre plus d'importance encore... En 1957, l'URSS lance Spoutnik 1 et l'Année géophysique internationale consacre l'étude de la planète depuis l'espace grâce aux fusées et aux satellites. L'année suivante, le général de

Gaulle arrive au pouvoir et entreprend de restaurer "*la grandeur de la France*". Hammaguir fait partie du grand récit national. Elle va bénéficier de tous les moyens pour y figurer en bonne place. "*On avait des tas d'avions*", se souvient le général Aubinière, qui a dirigé le site en 1957. De fait, dans ces années où s'engage la course à l'espace — les États-Unis lancent leur programme de vols spatiaux en 1958, l'URSS envoie le premier homme en orbite en 1961 — on ne refuse rien au complexe LRBA-CIEES. Air France ouvre une ligne Orly-Hammaguir-Casablanca. De la "*base secrète*", comme la décrit en 1959 *Paris-Match* photos interdites à l'appui, décollent vers l'espace le rat Hector, puis la chatte Félicette, la guenon Martine... et le premier satellite français A1 Astérix sur un lanceur Diamant.

NÉGOCIATIONS AUX ACCORDS D'ÉVIAN

En 1965, la France devient la troisième puissance spatiale mondiale. Le général de Gaulle veut par ailleurs que la France ait sa force de dissuasion. Hammaguir est un de ses trois points d'appui avec In-Ekker, le site d'essais nucléaires, enfoncé plus profondément dans le Sud-Sahara, et B2-Namous, près de Béni-Ounif, où des armes chimiques seront expérimentées longtemps après l'indépendance de l'Algérie et en collaboration avec son gouvernement. Le

Les Français font connaissance avec leur base spatiale du Sahara dans un *Paris Match* de 1959. Six ans plus tard, le 26 décembre 1965, c'est d'Hammaguir que décolle notre premier satellite : Astérix. © BNF/DR





Qu'est-il advenu du pas de tir des fusées françaises, isolé dans le désert ? © Comaero

maintien de ces trois bases aux mains de la France jusqu'en 1967 a été âprement négocié lors des Accords d'Évian, qui mettent fin à la guerre d'Algérie. Des huit années d'une guerre cruelle, Hammaguir eut peu à souffrir. Seul un sabotage du pipeline courant sur 30 km depuis la station de pompage la prive d'eau pendant quelques jours. Quand la base avait surgi de la hamada, l'Algérie entraînait dans la guerre pour son indépendance. Les 800 personnes de la "base-vie" étaient ravitaillées, protégées par 4 000 autres de la "base-guerre". Cette forte présence militaire, ainsi que les lignes Challe et Morice, barbelées, électrifiées et minées, à la frontière marocaine, mettaient la base à l'abri. Il n'en fut pas de même pour la population locale. Pour créer le vaste polygone de tir des missiles tactiques et des fusées, on avait contraint une tribu nomade à se sédentariser. Avec un succès tout relatif puisque, sur la photographie des débris d'une fusée Éole, on aperçoit des dromadaires. Puis ce fut la déportation dans des "camps de regroupement" de villages entiers suspectés d'entente avec les combattants indépendantistes. Cet épisode n'enlève rien à la valeur des débuts de l'aventure spatiale française, mais il faut savoir qu'à Abadla, à deux pas de la base, existait un de ces camps ceints de barbelés. La misère et les privations qui y règnent sont dévoilées à l'époque par un jeune inspecteur des finances nommé Michel Rocard, dans un rapport qui choque l'opinion.

La base d'Hammaguir est remise à l'Algérie en 1967. Quelques mois plus tôt, dans un numéro de 1966, le journal *Tintin* publiait une vue générale en écorché, avec toutes ses installations. Vision trompeuse, car elle figeait ce qui était un chantier permanent. À Hammaguir, on n'a cessé de bâtir et de transformer en fonction des programmes. Sur un reportage des années 1960, pendant quelques secondes, on entrevoit les restes d'un pas de tir, ferraille rouillée qui témoigne d'essais anciens, des fusées Éole de Barré peut-être. On ignore ce qui s'y passe aujourd'hui. Les bâtiments, les portiques de lancement sont toujours visibles sur les images satellites, mais aucune fusée ne s'élance vers le ciel. Kourou ouvert, on oublia vite Hammaguir. Les anciens de la base échangent désormais des photos sur les réseaux sociaux, des souvenirs tantôt d'ennui pendant les longues heures de tour de garde, tantôt imprégnés de nostalgie. Loin d'Hammaguir, sur la partie abandonnée du cosmodrome de Baïkonour, des enfants kazakhs jouent parmi les étages de fusées et les tuyères abandonnées. L'aventure spatiale ne s'embarrasse pas de nostalgie.

MICHEL BERETTI

Michel Beretti est l'auteur de *La base spatiale d'Hammaguir* (Observatoire de l'espace/Cnes), avec Jérôme Lamy et Élise Parré.

(1) Écouter notre podcast "Le camp de Dora, la face sombre de l'épopée spatiale" : <https://bit.ly/3hiTXEx>



D'ICARE À ARMSTRONG, LE PLEIN D'ESPACE

Été 1969. Neil Armstrong et Buzz Aldrin viennent à peine de revenir sur Terre que Shell décide d'inciter les automobilistes à s'arrêter dans ses stations-service en commémorant l'évènement. L'idée : éditer une collection de pièces marquant les principales étapes de la conquête spatiale et terminant, bien sûr, par le premier pas sur la Lune. Le succès est immédiat. Partout dans le monde (on trouve des

stations Shell sur les cinq continents), des enfants insistent auprès de leurs parents pour s'arrêter dans les stations de la marque au coquillage dans l'espoir de compléter une collection difficile à terminer : si une pièce est bien offerte à chaque plein, impossible de savoir laquelle ce sera. Il faut s'en remettre au hasard et, du coup, réunir les seize pièces de la collection tient du parcours du combattant.

À l'époque, les publicités annonçaient, solennelles : *"Pour la génération qui a vu la première fois l'Homme marcher sur la Lune, une collection de pièces que vous léguerez à vos petits-enfants"*. Difficile de savoir combien de collections complètes ont été léguées à ce jour, mais, vu les prix affichés sur les sites de vente en ligne, on peut supposer qu'elles sont peu nombreuses.

OLIVIER HODASAVA

FOMALHAUT, L'ÉTOILE À LA PLANÈTE ÉVANOUIE

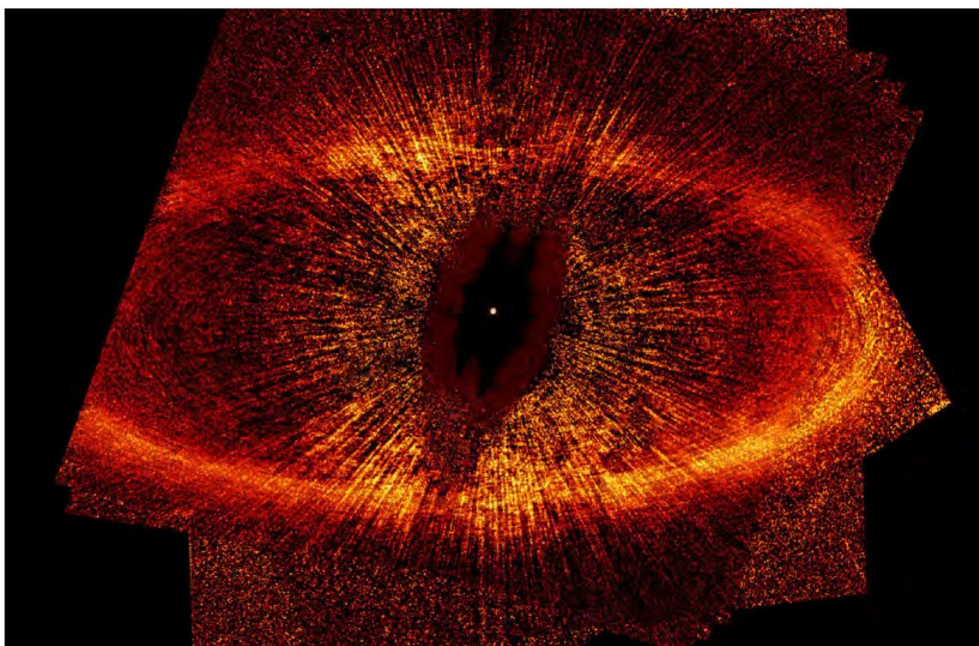
L'étoile principale de la constellation du Poisson austral est brillante, mais reste discrète au ras de l'horizon. L'apercevoir à l'œil nu, c'est l'occasion de contempler un astre proche qui cache bien des mystères aux astronomes.

Depuis l'Europe, il faut disposer d'un horizon sud bien dégagé pour apercevoir en milieu de nuit, au début de l'automne, la brillante étoile Fomalhaut. Cet astre, le plus remarquable de la constellation méconnue du Poisson austral (en tout cas pour les habitants de l'hémisphère Nord), scintille puissamment en dessous du Verseau. Or, cette

constellation du zodiaque ne fait pas partie des plus marquantes. Pour identifier Fomalhaut, mieux vaut partir d'un repère plus évident : le carré de Pégase. En prolongeant vers le bas le côté matérialisé par les étoiles Scheat et Markab, on finit, au terme d'une longue course céleste, par arriver sur cette étoile de magnitude 1,1 à l'éclat rougeâtre. Une

teinte due principalement à l'épaisse couche d'atmosphère terrestre que la lumière de l'étoile traverse pour parvenir jusqu'à nos yeux. Difficile de confondre Fomalhaut avec une autre : dans cette région du ciel, elle est assez seule comme étoile brillante. Et si vous ne la voyez pas, c'est peut-être qu'une colline, une montagne lointaine, ou une maison

Un large disque de poussière ceint Fomalhaut (l'étoile au centre est masquée artificiellement). Cette image spectaculaire contient beaucoup d'informations sur la formation des systèmes planétaires. Mais pas la photo d'une exoplanète, comme on l'a cru pendant quelques années. © Nasa/ESA/Univ. of California



proche vous la cache. À la latitude de Paris, elle culmine à moins de 12°, ce qui est peu. Depuis les latitudes tropicales et australes, Fomalhaut est bien plus haute dans le ciel et présente un éclat à la fois plus blanc et généralement plus stable. Quand vous aurez cette étoile en ligne de mire, prenez quelques minutes pour considérer la place particulière qu'elle occupe chez les astronomes. Et cela depuis le milieu des années 1980.

Une jeune étoile

Fomalhaut affiche une masse double de celle du Soleil. Cela signifie que son existence sera plus courte : 1 milliard d'années au lieu de 9 milliards d'années. D'ailleurs, elle est bien plus jeune : 200 millions d'années contre 4,5 milliards pour le Soleil. Distant de 25 années-lumière – autrement dit, c'est une voisine –, elle a attiré l'attention des scientifiques quand, en 1984, le satellite américain Iras a mesuré un excès de lumière infrarouge dans son spectre. L'interprétation était que de la poussière l'entourait et rayonnait dans cette longueur d'onde. À une époque où l'on ne connaissait aucune planète en dehors du Système solaire, la présence supposée de cette poussière pouvait être le signe d'un cortège planétaire en formation dans son giron. En 2004, le télescope spatial Hubble produit une image très définie de la poussière entourant l'étoile : on y voit pour la première fois un disque évoquant l'anneau de Saturne vu de trois quarts – en bien plus immense, environ 17 milliards de kilomètres de rayon ! La photo, spectaculaire, confirmait l'idée des astronomes : il y a bien autour de Fomalhaut un jeune système planétaire, probablement en cours de formation. L'histoire ne s'arrête pas là. Les astronomes ont continué à épier ce système avec le télescope Hubble. Et en 2008, surprise : une nouvelle image révèle qu'un point brillant situé sur le

bord interne de l'anneau s'est déplacé ! Il peut s'agir d'une jeune planète géante qui rayonne beaucoup en infrarouge proche. Certains spécialistes demeurent sceptiques, car un tel corps ne devrait pas briller autant. Il devrait rester invisible. Mais au cours des années qui suivent, d'autres clichés montrent que cet objet ponctuel se déplace et semble suivre une orbite qui, bizarrement, croise l'anneau. En 2012, les doutes se font plus concrets : des observations menées avec l'interféromètre millimétrique Alma, au Chili, ne permettent pas de détecter la planète. Markus Janson, de l'université de Princeton, avance alors que l'objet correspond plutôt d'un amas de poussières assez dense, et non d'une planète.

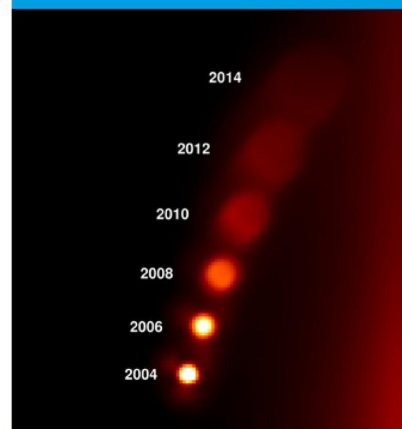
Nuage de poussière

Malgré tout, en 2015, l'Union astronomique internationale (UAI) donne leurs premiers noms à des exoplanètes et baptise Dagon cet objet qui reste l'un des rares photographiés près d'une autre étoile que le Soleil. Las, en avril 2020, le couperet tombe : en étudiant six clichés de Hubble pris entre 2004 et 2014, Andras Gaspar et George Rieke (université d'Arizona) constatent l'évanouissement progressif de l'objet. À mesure qu'il s'est affadi, il s'est étendu, exactement comme un nuage de poussière... Celui-ci s'est probablement formé à la suite d'une collision, ce qui en ferait le premier événement de ce type observé dans un autre système planétaire. C'est un signe que des planètes existent très probablement dans l'environnement turbulent de Fomalhaut. Simplement, elles ne sont pas visibles avec nos télescopes. En voyant cette étoile à l'œil nu, songez juste que vous contemplez un ensemble de planètes en gestation, exactement comme l'était le Système solaire voici 4,5 milliards d'années.

PHILIPPE HENAREJOS



Le bord ouest du grand carré de Pégase constitue un bon repère pour trouver Fomalhaut dans une région pauvre en étoiles brillantes. En automne, l'étoile du Poisson austral se trouve au ras de l'horizon sud en milieu de nuit.



Ces six clichés de Hubble espacés de quelques années montrent la dispersion progressive d'un objet brillant que certains astronomes avaient pris pour une planète en orbite autour de Fomalhaut. Ils lui avaient même donné un nom : Dagon. © Nasa/ESA

AUX ASTRES, CITOYENS !

Le jour de prendre part à l'astronomie est arrivé. Par la mise en réseau des individus et la démocratisation des instruments d'observation, faire de la science est devenu accessible à toutes et à tous. Découvrez dans ces pages tous les projets de science participative qui font de vous les nouveaux astronomes.



WASP-148B : DEUX TRANSITS À L'ÉPREUVE DES NUAGES

Plus de 200 amateurs se sont penchés sur le passage d'une lointaine planète devant son étoile. Des données précieuses permettront peut-être de débusquer d'autres membres de ce système planétaire.

Drôle d'été. Cette année, la météo n'a pas toujours été clémente en France métropolitaine. À fortiori, elle a donné du fil à retordre aux chasseurs d'exoplanètes. Répondant à l'appel lancé par l'Association française d'astronomie (AFA), plus de 200 amateurs avaient coché le 26 juin et le

9 août sur leur agenda. Pendant ces deux nuits, la planète Wasp-148b devait passer devant son étoile Wasp-148 et affaiblir son éclat de près de 1 %. L'objectif était de mesurer cette diminution au cours du temps. Les inscrits ont bénéficié de trois webinaires de l'AFA pour s'y préparer. Le



Quelque part dans la constellation d'Hercule, Wasp-148 est une étoile de magnitude 12. Elle est encerclée dans ce champ de 12 minutes d'arc de côté.



premier consacré à la science des exoplanètes, sous la houlette de l'astrophysicien Guillaume Hébrard, découvreur de Wasp-148b en juillet 2020, et de Franck Marchis, directeur scientifique de l'entreprise Unistellar. Le deuxième bâti autour de conseils donnés par Jean-Luc Dauvergne, journaliste à Ciel & espace, et Bruno Guillet, utilisateur d'un eVscope, un télescope à vision augmentée. Et le dernier dédié au traitement des données avec le logiciel Muniwin, par Daniel Verilhac (alias Tonton). Afin de parfaire les ultimes ajustements techniques, les échanges se sont poursuivis (et se poursuivent encore) sur la plateforme de discussion Discord de l'AFA.

Territoire couvert

De la Meurthe-et-Moselle aux Pyrénées-Orientales, des Yvelines aux Alpes-Maritimes, la vaste répartition des observateurs a permis à certains d'entre eux d'échapper aux nuages le 26 juin. Parmi ces onze rescapés, Matthieu Conjat a réussi à suivre l'intégralité du transit

depuis la coupole Schaumasse à l'observatoire de Nice. *"Certaines de ces mesures permettent de chronométrer le milieu du transit avec quelques minutes de précision"*, commente Guillaume Hébrard.

Dans la nuit du 9 au 10 août, un ciel de traine a de nouveau sévi au nord de la Loire, ainsi qu'aux latitudes auvergnates. Près de 80 amateurs, privés d'observation en juin, avaient pourtant déclaré vouloir se rattraper en août ! À Vierzon, Cholet et Blois d'une part, et le long d'une bande sud s'étendant du Tarn-et-Garonne au Vaucluse, certains sont parvenus à livrer des données. Quatre des participants aoutiens avaient également contribué le 26 juin, parvenant donc à faire coup double : Anaël Wünsche depuis l'observatoire des Baronnières provençales (05), Jean-Marie Laugier depuis Simiane-Collongue (13), Élisabeth Maris depuis Chambéry (73) et Didier Walliang depuis Vandœuvre-lès-Nancy (54). Saluons Bruno Guillet qui, comme Matthieu Conjat, était parvenu à mesurer le transit de Wasp-148b en avant-première, le 13 mai.

Record du monde

Mi-août, un premier bilan a été dressé : ils sont 23 participants à avoir rendu des données pour au moins l'un des deux transits. Et au moins 16 pour la seule nuit du 9 août. Un record du monde a-t-il été battu ce soir-là ? Probable. *"Certains transits, comme celui de Qatar-1b, ont été observés près de 500 fois par des astronomes amateurs. Mais je ne crois pas qu'il y ait un cas comptant plus de 10 observateurs simultanés"*, note Angelos Tsiaras, chercheur à l'University College de Londres et responsable du programme d'exoplanétologie citoyenne ExoClock.

Après récolte des données, ce sont les horaires de début, de milieu et de fin du transit qui sont inspectés par Guillaume Hébrard, à Paris, et Tom Esposito, planétologue à l'Institut Seti en Californie. Car Wasp-148b n'est pas seule. Une autre planète, Wasp-148c (qui ne passe pas devant son étoile), l'accélère et la freine par force gravitationnelle, décalant de plusieurs minutes son transit. Cette variation lui a valu d'être débusquée par les équipes de Guillaume Hébrard, comme Urbain Le Verrier avait trouvé Neptune, sans la voir, par l'observation d'Uranus. À 803 années-lumière, mieux connaître les caractéristiques de Wasp-148c, voire découvrir d'autres planètes, est l'un des objectifs du projet. Mais l'AFA compte également inciter les amateurs à franchir le pas de la science. Ce fut le cas de Patrick Picard, à Courthézon dans le Vaucluse. Le 9 août, il est l'un des rares à être parvenu à observer le transit en entier. *"C'est un rêve de gosse. Je suis passé de ma collection de revues Tout l'univers de 1970 au pilotage d'un télescope. Le choc. Les images, c'est moi qui les affiche maintenant !"* témoigne cet ancien mécanicien dans l'armée de l'air. En dépit des nuages, des vocations sont peut-être nées cet été.



Comme Bruno Guillet (au centre), des dizaines d'astronomes amateurs ont déployé leur télescope personnel pour observer en même temps le passage de l'exoplanète Wasp-148b devant son étoile.
© D. Bouysse/D. Walliang/B. Guillet

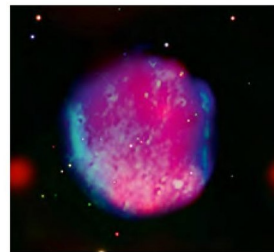


HOINGA, LE RÉMANENT DE L'HYDRE

Le 3 mars 2021, l'Institut Max Planck (Allemagne) publie la découverte, dans la constellation de l'Hydre, d'un rémanent de supernova si vaste que son diamètre angulaire dépasse 8 fois celui de la Pleine Lune. Comment un tel vestige d'explosion stellaire a-t-il pu échapper aux astronomes jusqu'ici ? C'est bien simple : il brille très peu. Passé inaperçu dans les archives (le sondage Rosat), c'est le télescope spatial X Spektr-RG, lancé en 2019, qui le débusque. Les collaborateurs de son découvreur, Werner Becker, la retrouvent dans un deuxième relevé australien en ondes radio (le sondage Gleam). Werner Becker le baptise Hoinga. C'est le nom que portait, à l'époque médiévale, sa ville natale de Bad Hönningen, sur les bords du Rhin.

Vu en rayons X et en radio, Hoinga ne serait pas complet si l'on n'en possédait pas une troisième image en lumière visible. C'est l'avis qu'on se fait à 600 km de là, en Haute-Savoie. Dans le massif du Chablais, Idir Saci est responsable d'un centre de vacances par profession, et astronome par passion. Son ami Dominique Boutigny, directeur de recherche au CNRS à Annecy, le contacte. *"Avec ton matériel astro, tu pourrais photographier cette nouvelle nébuleuse"*, lui souffle-t-il. Idir Saci relève le défi. Sa lunette de 50 cm de focale, associée à un capteur de 37 mm, offre un vaste champ. C'est parfait pour saisir Hoinga dans sa globalité.

En France, un troisième confinement se prépare, mais l'amateur de 45 ans a rendu son installation pilotable à distance



Superposition d'images du rémanent de supernova vu en ondes radio (bleu) et rayons X (rose). © eROSITA/MPE (X-ray). CHIPASS/SPASS/N. Hurley-Walker. ICRAR-Curtin (Radio)



Idir Saci est parvenu à saisir en lumière visible les filaments de la nébuleuse Hoinga, vue ci-contre en négatif. © I. Saci

un an plus tôt. Dès la fin mars 2021, il s'affaire chaque soir. Problème : la cible ne dépasse pas 27° au-dessus de l'horizon montagneux. En cette saison, l'Hydre est un animal qui se couche tôt. Idir Saci ne dispose que de 3 heures en début de nuit (fin avril, ce ne sera plus que de 1 heure) pour une photo qui demande une longue exposition. L'éclat de la Lune gâche les premières tentatives. Mais à force de persévérance, une combinaison de six clichés de 20 min permet de discerner deux filaments de gaz ! D'abord euphorique, Idir Saci veut vérifier que cette structure est la bonne. Ni les rayons X ni les ondes radio n'exhibent de forme semblable. Il se souvient avoir lu dans *Ciel & espace* [n° 573 p. 34] qu'un filament similaire avait été trouvé en 2016 dans la Grande Ourse par Galex. Il consulte les images de ce satellite sensible aux ultraviolets. À l'endroit de Hoinga, les mêmes filaments sont présents ! L'amateur est sur la bonne voie. Tout le mois d'avril, matin, midi et surtout soir, il "pense, respire Hoinga" et, par tranches, il cumule un temps de pose de 18 h. Lorsque l'image finale apparaît enfin sur son écran, une vive émotion le traverse. Une nébuleuse inédite dévoile ses contours.

Idir Saci et Dominique Boutigny envoient leur résultat à l'Institut Max Planck. Surpris mais enchanté, Werner Becker les gratifie. "L'astronomie des hautes énergies, comme l'étude des rémanents de supernovae, ne vit que par les études multispectrales. Toutes les longueurs d'onde doivent être associées", nous écrit le chercheur allemand. L'enquête d'Idir Saci aura levé le voile sur la mort violente d'une étoile survenue dans notre galaxie il y a fort longtemps : 17 000 ans selon les premières estimations...

547

C'est le nombre de transits de TrES-3b devant son étoile, qui ont été mesurés et envoyés à la base de données Exoplanet Transit Database. Cela en fait l'exoplanète la plus observée par les astronomes amateurs. Baptisée Umbässa en 2019, cette planète géante gazeuse tourne en 31 h autour de son étoile, devant laquelle elle passe en 77,4 min, bloquant au plus 2,5 % de sa lumière.

L'astre est observable dans la constellation d'Hercule, à 10° à l'ouest de Véga, étoile la plus brillante des nuits d'été.



COLLECTION DE DISQUES

Objectif : rechercher des jeunes étoiles autour desquelles naissent des planètes, au sein d'un disque de gaz et de poussière. Problème : les fausses pistes sont nombreuses parmi les 2 milliards de cibles saisies depuis 2009 par le télescope spatial infrarouge Wise. En vous invitant à comparer les images d'un même astre catalogué par Wise et d'autres relevés du ciel, le projet Disk Detective vous permet de débusquer ces disques protoplanétaires. Parmi les critères, l'étoile doit être bien ronde et son pourtour ne doit pas déborder du cercle rouge. Disponible en français sur ordinateur.

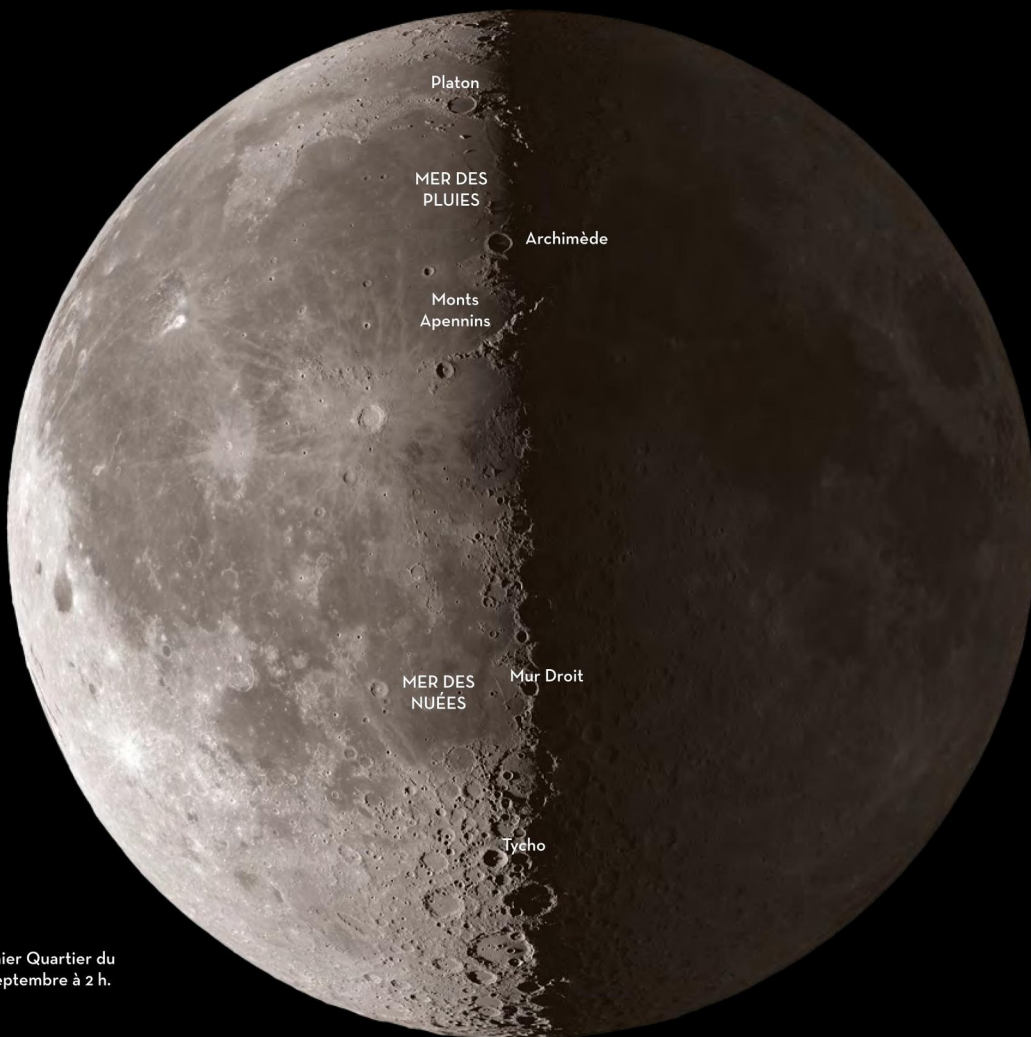
Appli : Zooniverse

Site : www.zooniverse.org



SOLEIL COUCHANT SUR LE DERNIER QUARTIER

À la fin des mois de septembre et d'octobre, le Dernier Quartier de Lune s'élève haut dans le ciel, loin des turbulences à l'horizon. Nous vous proposons de le pointer au télescope pour découvrir le visage inhabituel de quelques formations, montagnes, failles ou cratères, sous la lumière rasante du soleil couchant.



Dernier Quartier du
29 septembre à 2 h.

Dernier quartier du 29 septembre

En septembre, le Dernier Quartier a lieu le 29, à 2 h TU. La Lune est alors à 40° de hauteur si bien qu'elle peut déjà être observée avec précision, et cela jusqu'à la fin de la nuit.

Les Apennins au terminateur

Sur la moitié nord de notre satellite, la vaste mer des Pluies a commencé à sombrer dans la nuit. Toutefois, les remparts sud de cet immense bassin d'impact que sont les monts Apennins, culminent si haut et sont si abrupts qu'ils prennent encore de plein fouet la lumière du Soleil. Une lunette de 60 à 80 mm d'ouverture permet déjà de détailler leurs reliefs escarpés. La vision est étonnante car ces cimes, qui dépassent parfois 5 000 m d'altitude, forment un éperon lumineux au large du terminateur. Au fil des heures, il est possible de voir cet arc diminuer de longueur et d'éclat, tandis que le Soleil se couche dessus. Juste au nord des Apennins, Archimède est lui aussi à demi dans la nuit. Alors que le fond du cratère est invisible, ses remparts forment un beau cerceau de lumière.

Le Mur Droit s'illumine

En dehors des montagnes escarpées, les reliefs qui demeurent lumineux sous l'éclairage solaire rasant sont assez rares. À cet égard, le Mur Droit mérite un détour. Il se trouve en bord de la petite mer des Nuées, la plus méridionale le long du terminateur. Rupes Recta est un glissement de terrain de 120 km de long et seulement 2 km de large. Son dénivelé n'est que de 300 m et sa pente n'excède pas 7°. Toutefois, son inclinaison favorable face au soleil couchant lui permet de briller davantage que les plaines de lave alentour. Un instrument de 100 mm de diamètre n'est pas de trop pour distinguer ce délicat fil d'or, dont l'épaisseur ne

dépasse guère 1" d'arc. Dans un télescope de 200 mm, des irrégularités témoignent d'ébouilis le long de cette formation. La vision contraste avec celle que l'on a au Premier Quartier, lorsque le Mur Droit prend la forme d'un épais trait noir du fait de l'éclairage inversé.

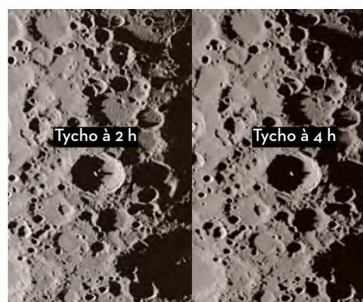
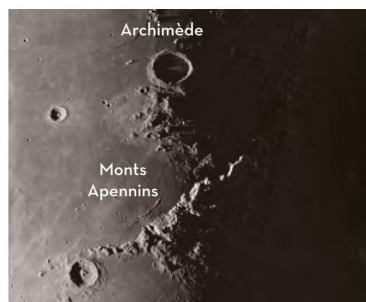
Tycho perd son pic central

Âgé de seulement 107 millions d'années, Tycho est l'un des plus jeunes cratères de la Lune. Son diamètre dépasse 80 km et ses remparts s'élèvent à 4 700 m au-dessus du fond de l'arène. Le Dernier Quartier de septembre offre l'opportunité de voir le Soleil se coucher sur le pic central, une montagne à lui tout seul, haute de 2 000 m. Observez une première fois Tycho vers 2 h. Dans une petite lunette, les sommets centraux forment une courte virgule lumineuse, sur le fond noir de l'ombre qui a dépassé le milieu de l'arène. Un instrument de 100 mm permet de distinguer un autre sommet, minuscule, juste au nord du pic principal. L'ombre du pic central dessine une fine et longue échancrure noire dans la partie est de l'arène, qui n'est pas sans faire penser au nez allongé de Pinocchio. Une nouvelle observation vers 4 h

montre une évolution notable : le pic central s'est réduit à un petit point lumineux, tandis que les ombres ont continué à envahir le fond du cratère.

Les cimes dentelées de Platon

Hormis aux pôles lunaires, les cratères nous apparaissent de face, si bien qu'il est difficile d'appréhender leurs reliefs. Le coucher du Soleil permet de contourner ce problème, grâce aux ombres au sol qui reflètent parfaitement la topologie des remparts. Cap sur Platon par exemple, célèbre cratère de 100 km de diamètre au beau milieu de la chaîne des Alpes. Au vu de ses dimensions, il devrait posséder un piton central de 2 km de haut, mais il a été recouvert par une couche de lave de plus de 2,5 km d'épaisseur. Sous un éclairage rasant, la ligne de crête du rempart ouest projette son empreinte sur le fond lisse du cratère. Dans un instrument de 100 mm, elle apparaît fortement irrégulière, avec en point d'orgue une cime pointue qui dépasse nettement. Avec un télescope de 150 à 200 mm et un fort grossissement, il est possible de distinguer des petits cratères sur le sol de Platon, dont la taille n'excède pas 2 km.



Le 30 septembre, lendemain du Dernier Quartier

Au lendemain du Dernier Quartier, le terminateur s'est largement déplacé vers l'ouest. Le changement de phase permet d'explorer de nouvelles régions, mises en valeur par le soleil couchant.

Le Soleil se couche sur Copernic

Copernic est l'un des plus beaux cratères de la Lune. Il y a 800 millions d'années, une paille à l'échelle géologique, une météorite a percuté de plein fouet la région limitrophe de la mer des Pluies et de la mer des Iles, creusant une arène de 93 km de diamètre et de 3800 m de profondeur. Ce jeune cratère est déjà visible dans de simples jumelles et son auréole d'éjectas clairs l'est à l'œil nu.

Dans un instrument de 100 mm, il est intéressant d'observer la différence d'aspect entre l'intérieur des parois, en escalier, et l'extérieur plus lisse. Du moins côté est, car l'ombre du rempart ouest cache l'intérieur du cratère jusqu'aux pics centraux. Ces trois sommets indépendants et hauts de 1200 m méritent une observation attentive à fort grossissement. Le plus occidental est rattrapé par la nuit vers 2 h et commence à se faire rogner par la base. Celui du

Le 30 septembre



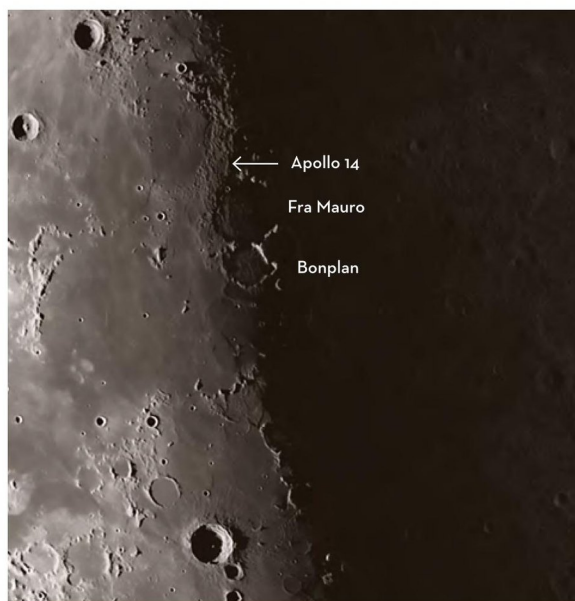
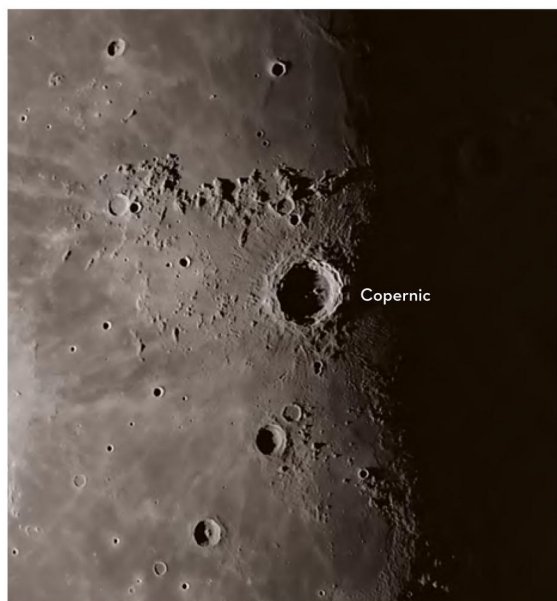
milieu subit le même sort une heure plus tard. Quand le ciel s'éclaircit vers 5 h, ces deux pics ont déjà disparu dans la nuit et seules les plus hautes cimes du piton le plus à l'est demeurent visibles.

Le site d'Apollo 14

En longeant le terminateur vers le sud depuis Copernic, on arrive à Fra Mauro, un cratère fantôme quasiment détruit. L'éclairage rasant est idéal pour faire ressortir le peu qui demeure de ses vieux

remparts. Fra Mauro mesure pas moins de 95 km de diamètre et possède une paroi commune au sud avec Bonplan, un peu plus petit. Le duo, repérable dans une lunette de 80 mm, fait quelque peu penser à un trou de serrure. Le site d'alunissage de la mission Apollo 14 se trouve sur la pente nord de Fra Mauro, dans une zone qui apparaît relativement accidentée à l'oculaire. L'endroit difficile d'accès a été choisi pour son intérêt géologique, les roches dans cette zone

étant particulièrement anciennes. Pour comparaison, Apollo 12 avait aluni plus à l'ouest, sur une zone lisse de la mer des Connaissances. Malheureusement, Apollo 14 s'est révélée compliquée pour Sam Shepard et Edgar Mitchell. N'ayant pas réussi à reconnaître les reliefs qui les entouraient, les deux astronautes américains ont manqué les zones les plus intéressantes pour leurs prélèvements et se sont attiré à leur retour les critiques des géologues de la Nasa.



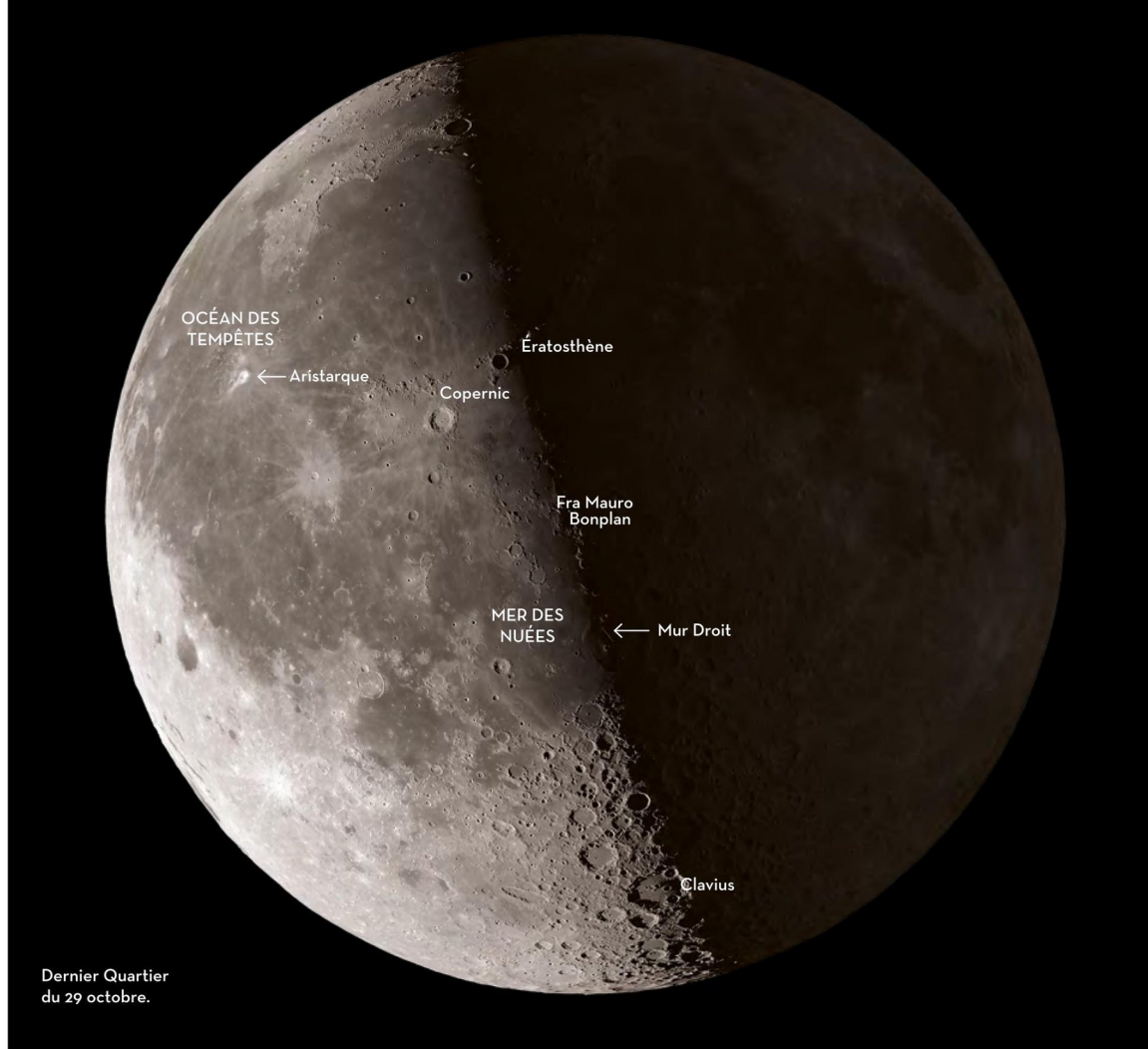
Dernier Quartier du 28 octobre

En octobre, le Dernier Quartier de Lune se produit le 28 à 20 h. Cependant, comme en septembre, il faut attendre la seconde partie de nuit, soit le 29, pour qu'il monte assez haut dans le ciel. En conséquence, l'éclairage sur les formations lunaires est différent de celui observé un mois plus tôt.

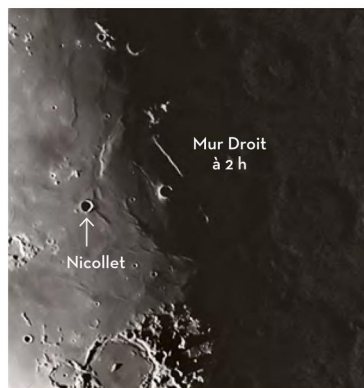
Le jeu des différences

Si vous avez bonne mémoire, amusez-vous à relever les différences avec le mois précédent. Puisque la Lune met un peu moins de 30 jours pour boucler une lunaison, la phase est un peu plus avancée pour une heure donnée, d'autant que la libration en longitude change aussi légèrement. À 2 h par exemple, seuls quelques rares sommets des monts

Apennins sont encore éclairés. Tycho ou Platon sont presque complètement dans l'ombre. Quant au Mur Droit, il apparaît amputé de moitié, seule sa moitié nord prenant encore un peu la lumière. Un télescope de 150 mm d'ouverture n'est pas de trop pour l'observer en détail. La cime d'un ancien cratère presque enseveli demeure légèrement éclairée juste au sud du mur, comme une



Dernier Quartier
du 29 octobre.



minuscule virgule lumineuse. Les choses vont aller vite puisqu'en moins d'une heure, le Mur Droit aura entièrement disparu dans la nuit.

La courbure de Clavius

Situé sur les plateaux au sud de notre satellite, Clavius est un vieux cratère de 3,9 milliards d'années. Avec 225 km de diamètre, il est le troisième plus grand de la face visible. La perspective nous le fait faussement apparaître ovale. De nombreux impacts plus récents ont criblé sa surface. Les plus gros de ces cratères,

parfaitement visibles dans une lunette de 60 mm de diamètre, se répartissent en arc et sont répertoriés avec une lettre – D, C, N et J – d'est en ouest et du plus gros au plus petit.

Alors que Clavius avait fière allure lors du Dernier Quartier du 29 septembre, l'arrivée de la nuit le métamorphose. La partie ouest de son arène est recouverte par de grandes ombres dentelées, projetées par les remparts. Ces ombres s'étendent au fil des heures. À l'opposé, toute la partie est du cratère se trouve elle aussi dans la nuit. Il y a pourtant peu



Clavius



Vallée de Schröter

Aristarque

de reliefs pour occulter ainsi les rayons solaires. C'est la convexité du cratère qui est en cause ! Clavius est en effet si grand que la courbure de la Lune n'est pas négligeable à l'intérieur de son arène. Résultat : son fond bombé empêche la lumière du Soleil couchant d'atteindre la partie orientale du cratère.

Les rides de la mer des Nuées

La lumière rasante du Soleil n'a pas pour seul effet de faire projeter d'immenses ombres aux cratères et aux montagnes : elle met aussi en exergue les moindres reliefs. Au terminateur, il devient possible par exemple de constater que les mers de lave ne sont pas lisses : des boursoufflements de quelques centaines de mètres, appelées dorsales (*dorsa* en latin), ont ridé leur surface. En cause, des écoulements irréguliers dans le temps et hétérogènes, lorsque la lave a rempli progressivement les grands bassins d'impacts. Ce 29 octobre, la configuration est parfaite pour découvrir ainsi la mer des Nuées sous un jour inédit. De magnifiques plissements, reconnaissables dans une lunette de 60 à 80 mm d'ouverture, se déploient à l'ouest du Mur Droit, autour du cratère Nicolle de 15 km de diamètre. D'autres dorsales peuvent être observées plus au nord le long du terminateur, notamment de part

et d'autre d'Ératosthène, dans le golfe Torride et dans la mer des Pluies.

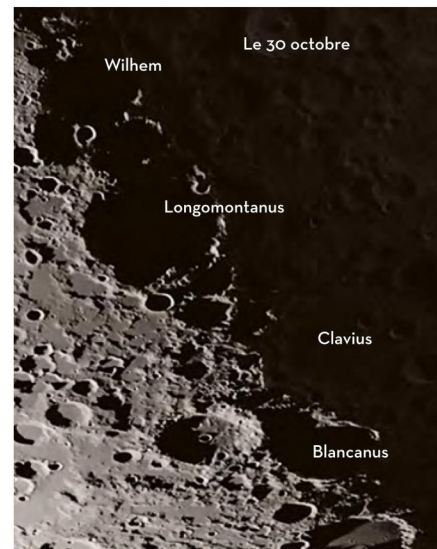
La région la plus lumineuse de la Lune

Quittons un instant les jeux d'ombres au terminateur pour aller chercher la clarté avec le cratère le plus brillant de la Lune. Comme un vieux miroir, la surface lunaire a été ternie par le temps, notamment à cause du bombardement incessant des particules de haute énergie en provenance du Soleil. Pour retrouver son lustre originel, il faut regarder les cratères d'impact les plus récents. En effet, les roches fraîchement mises à nu n'ont guère été érodées. Cap sur le cratère Aristarque, au milieu de l'océan des Tempêtes. Dans tous les instruments, y compris aux jumelles, sa luminosité saute aux yeux. L'impact remonte à seulement 450 millions d'années et s'est produit sur un plateau volcanique. Une célèbre faille volcanique, la vallée de Schröter, peut d'ailleurs être repérée au nord-ouest du cratère. Au final, le fond d'Aristarque est deux fois plus lumineux que la moyenne des cratères lunaires. Il brille tellement qu'il est possible de l'identifier à l'œil nu, comme un petit point éclatant, non résolu bien entendu.

Le 30 octobre, lendemain de Dernier Quartier

Le terminateur ciselé par les cratères

Par rapport au 30 septembre, un jeu de mémoire permet de constater de nouveau l'influence de la phase (et un peu des libérations) à un mois lunaire et quelques heures d'intervalle. Un coup d'œil dans une lunette de 60 mm est sans appel dès 50 fois de grossissement : Copernic n'est plus qu'un coup de poinçon noir sur le terminateur, au niveau de la mer des Pluies. Autant cette transition jour-nuit est régulière au niveau des mers, autant elle est transformée en un véritable gryère dans les plaines au sud de notre satellite, du fait de nombreux cratères à demi éclairés. Ce 30 octobre au matin, le spectacle est édifiant même dans des jumelles. Depuis le pôle Sud, en remontant vers le nord, Newton, Blancanus, Clavius, Longomontanus et Wilhem, pour ne citer que les plus gros cratères, mordent partout le terminateur avec leurs énormes bassins plongés dans la nuit.



Le 30 octobre

Wilhem

Longomontanus

Clavius

Blancanus

LES LARMES DU CIEL D'AUTOMNE

Le mois d'août est bien connu pour ses Perséides, mais d'autres périodes de l'année sont propices à l'observation d'étoiles filantes. C'est le cas de l'automne. Il y a bien entendu les Léonides en novembre avec la possibilité de voir 10 météores par heure assez brillants autour du 12 (voire bien plus, certaines années). Mais, on le sait moins, octobre est également digne d'intérêt. La météo est souvent plus favorable qu'en novembre et sept essais d'étoiles filantes ont leur pic d'activité ce mois-là. En fait, seul le mois de décembre est plus riche en nombre d'essais. Si octobre est moins connu pour ses météores, c'est qu'il s'agit d'essais météoritiques plus secondaires qu'en août ou en décembre. Le 5 octobre, les Camelopardides ont un pic d'activité de 5 météores par heure. Suivent trois jours plus tard les Draconides. Leur pic est souvent bref et culmine en début de nuit avec un maximum attendu de 10 météores par

heure. Cet essai a produit occasionnellement une activité intense avec 150 météores par heure en 2018 et 300 en 2011. Le 10 octobre, les Taurides Sud produisent un petit pic de 5 météores par heure. À cette date, quatre essais sont actifs simultanément. Notamment les Delta Aurigides avec un petit pic d'activité de 2 météores par heure le 11 octobre. Trois autres essais d'étoiles filantes très secondaires sont visibles le reste du mois : les Epsilon Géminides le 18, les Leonis Minorides le 24, et le plus gros, les Orionides avec 20 météores par heure le 21 octobre. On est alors en période de Pleine Lune hélas, mais l'essai peut produire des pics secondaires dans les jours qui précèdent. Au total, il est actif tout le mois et déborde même sur novembre. La conjugaison de tous ces essais, plus le flux de météores sporadiques font qu'il est possible d'être surpris à tout moment par de belles étoiles filantes au cours du mois.

Avec un long temps de pose, il est possible de photographier les météores les plus brillants. Utilisez un objectif le plus lumineux possible, idéalement ouvert à $f/2,8$ au moins. DR



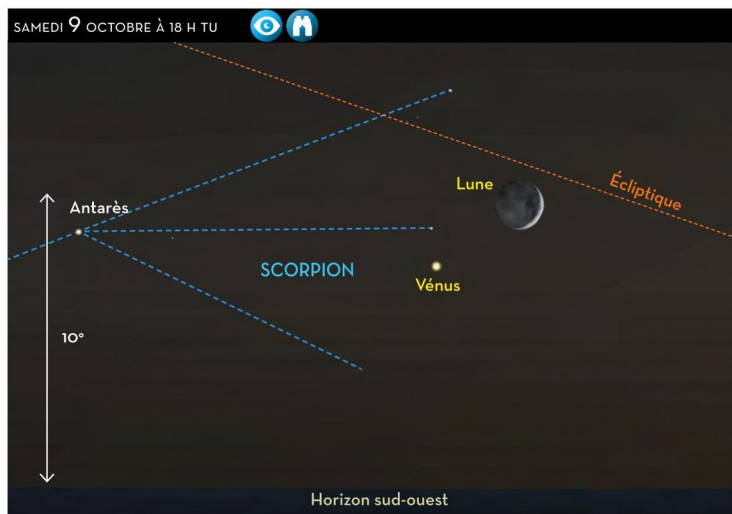


5 UNE BARQUE LUNAIRE AU LEVANT

Cherchez un infime cil lunaire dans les premières lueurs de l'aube, une heure avant le lever du Soleil. La fraction éclairée de notre satellite naturel n'est que de 2 %.

9 UN BEAU CROISSANT POUR VÉNUS

Belle conjonction entre le croissant de Lune et Vénus dans le ciel du soir. Les deux astres sont distants de 2°.



OCTOBRE

1^{er}

VENDREDI

À partir de ce matin et jusqu'au 5, la lumière cendrée devient bien visible sur la Lune.



2

SAMEDI

Titan est à son élongation maximale à l'ouest de Saturne.



3

DIMANCHE

De 3 h 28 à 4 h 23 h, Éta Leo est occultée par la Lune. De magnitude 3,5, c'est l'une des étoiles principales du Lion.



6

MERCREDI

Jusqu'au 19 octobre, pensez à chercher la lumière zodiacale dans le ciel de l'aube. Un ciel noir est indispensable.



8

VENDREDI

Maximum d'activité des Draconides, à surveiller dès la nuit tombée. Avec une vitesse de 20 km/s, ces étoiles filantes comptent parmi les plus lentes. Cet essaim est calme en général, avec un pic d'une dizaine d'étoiles filantes par heure, mais un sursaut d'activité est possible.



9

SAMEDI

Mercure passe en conjonction inférieure.

10

DIMANCHE

Maximum d'activité des Taurides Sud avec 5 météores par heure.



11

LUNDI

Maximum d'activité des Delta Aurigides avec 2 météores par heure.



13

MERCREDI

À partir de ce soir et jusqu'au 15, le mouvement propre de notre satellite est particulièrement apparent, grâce aux deux balises que constituent Jupiter et Saturne.



LES HORAIRES SONT EN TEMPS UNIVERSEL
Pour obtenir l'heure légale en France métropolitaine, ajoutez 2 heures avant le 31 octobre, et 1 heure ensuite.

17 DIMANCHE

Jupiter est stationnaire. La planète géante s'immobilise quelques jours au-dessus de l'étoile Nashira dans la constellation du Capricorne.

20 MERCREDI

De 23 h 27 à 1 h 45 TU, Callisto et Io sont simultanément devant Jupiter.

21 JEUDI

Maximum de l'essai d'étoiles filantes des Orionides.

24 DIMANCHE

Maximum d'activité des Léonides Minorides avec 2 météores par heure.

29 VENDREDI

Vénus est à sa plus grande élongation est. Actuellement sous l'écliptique, elle est donc assez basse au crépuscule.

29 VENDREDI

L'astéroïde 6 Hébé passe à seulement 0,9° de l'amas globulaire M75.

30 SAMEDI

Saturne passe à la quadrature, c'est la fin de sa période de visibilité optimale.

NOVEMBRE

2 MARDI

La comète 67P/Churyumov-Gerasimenko explorée par Rosetta en 2014 passe au périhélie. "Chury" peut grimper à la magnitude 9 et croise du côté de Castor et Pollux dans les Gémeaux.

4 JEUDI

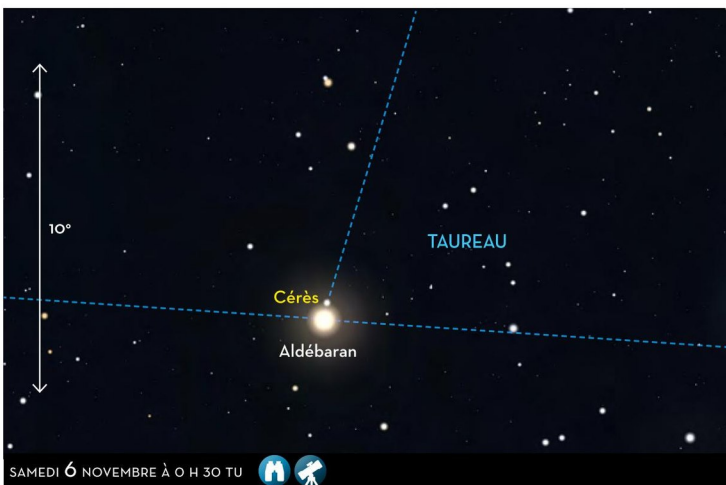
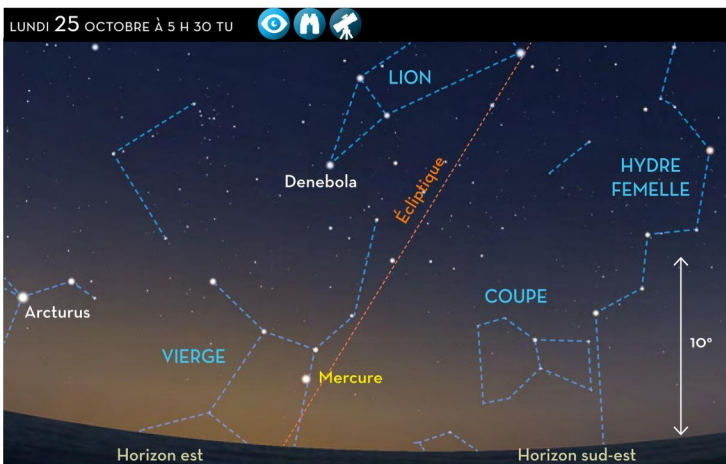
Uranus est à l'opposition dans le Bélier. Elle est à la limite de visibilité à l'œil nu, mais elle est reconnaissable à sa teinte verdâtre dans les jumelles et le chercheur d'un télescope.

5 VENDREDI

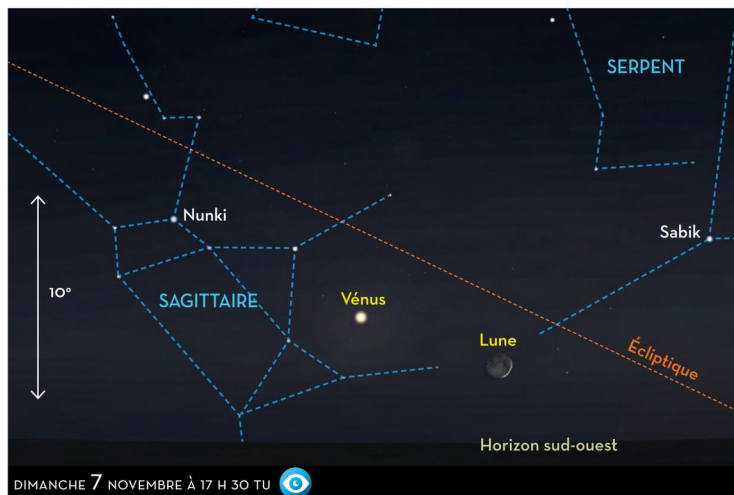
L'Étoile polaire passe au méridien à minuit. Profitez-en pour vérifier le réglage de votre viseur polaire.

25 MERCURE À L'ŒIL NU

Mercure est à sa plus grande élongation, à 18° à l'ouest du Soleil. D'une magnitude proche de 0, elle est facile à voir à l'œil nu dans les lueurs de l'aube. Les conditions d'observation demeurent excellentes jusqu'à la fin du mois.

**6** RENCONTRE DANS LE TAUREAU

L'astéroïde Cérès frôle l'étoile Aldébaran dans la nuit du 5 au 6. L'écart entre les deux astres descend à 15' d'arc. Le déplacement du petit corps est visible en moins d'une heure dans un instrument muni d'un grossissement de 50 fois.

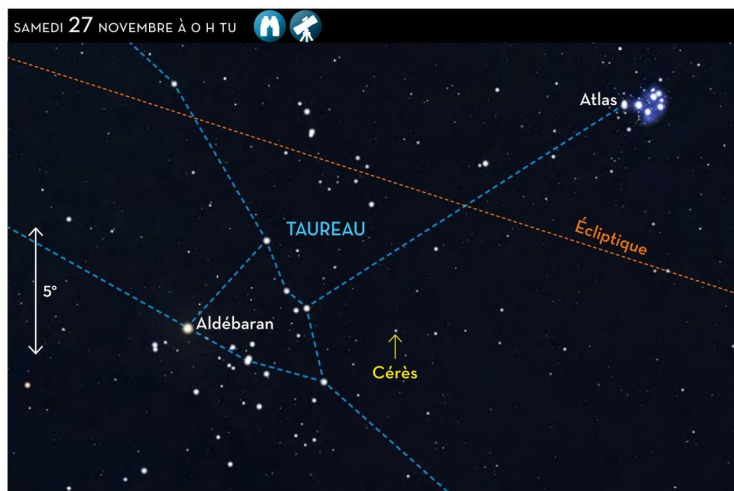


7 SPECTACLE VESPÉRAL

Très beau rapprochement entre un croissant de Lune et Vénus dans les lueurs du soir. Les deux astres sont distants de 7°. Le rapprochement est également digne d'intérêt le 8 avec un écart de 6,5°. Il donne lieu à une occultation visible depuis l'Asie.

27 CÉRÈS AU MIEUX DANS LE CIEL

Cérès est à l'opposition dans le Taureau. De magnitude 7, il est visible dans des jumelles ou un petit instrument. Avec une taille de 0,75", il est possible de détecter sa taille apparente dans un instrument de 250 mm et plus. Notez aussi qu'il scintille moins que les étoiles dans le champ.



10 MERCREDI

La Lune a élu domicile sous Saturne, à 5°.

11 JEUDI

La Lune presque en quartier a rendez-vous avec Jupiter à 5°.

12 VENDREDI

Maximum d'activité des Taurides Nord avec 5 météores par heure.

15 LUNDI

Jupiter passe en quadrature à l'est du Soleil. La meilleure période pour l'observer se termine.

17 MERCREDI

Maximum du célèbre essaim des Léonides. Il produit des météores lumineux, heureusement car la Lune inonde le fond de ciel de son éclat. Il est possible de voir jusqu'à 10 météores par heure.

19 VENDREDI

Éclipse partielle de Lune visible dans l'océan Indien, comme à Tahiti ou en Nouvelle-Calédonie. En métropole, la Lune est en partie dans la pénombre lorsqu'elle se couche.

28 DIMANCHE

Pic d'activité des Orionides de novembre avec 3 météores par heure.

29 LUNDI

Mercury passe en conjonction supérieure. Elle est inobservable.

29 LUNDI

Cérès est au plus près de la Terre à 1,761 UA.

PHÉNOMÈNE À VOIR AVEC



MERCURE

1/10		15/10		1/11		15/11	
Magnitude	1,5	15/10	2,2	1/11	- 0,8	15/11	- 0,9
Diam. apparent	9,5"	15/10	9,3"	1/11	5,8"	15/11	4,9"
Lever	7 h 32	15/10	5 h 13	1/11	5 h 03	15/11	6 h 14
Coucher	17 h 36	15/10	16 h 37	1/11	16 h 06	15/11	15 h 53
Intérêt	○	15/10	★★★	1/11	★★★★	15/11	★★★

MERCURE est à 17° du Soleil début octobre, mais l'inclinaison de l'écliptique ne lui est pas favorable pour les latitudes tempérées nord. Elle est en conjonction avec le Soleil le 9 et revient dans le ciel du matin avec une belle période de visibilité du 20 octobre au 1^{er} novembre.

VÉNUS

1/10		15/10		1/11		15/11	
Magnitude	- 4,2	15/10	- 4,3	1/11	- 4,4	15/11	- 4,5
Diam. apparent	18,9"	15/10	21,5"	1/11	25,8"	15/11	30,8"
Lever	10 h 09	15/10	10 h 43	1/11	11 h 08	15/11	11 h 09
Coucher	18 h 51	15/10	18 h 36	1/11	18 h 31	15/11	18 h 35
Intérêt	★★★★	15/10	★★★★	1/11	★★★★	15/11	★★★★

VÉNUS est bien visible en ce moment, car son élongation est maximale le 29 octobre. Elle se montre sous la forme d'un quartier autour de cette date. Les amateurs les mieux équipés peuvent tenter de dénicher des détails dans les nuages avec un filtre UV ou IR.

MARS

15/10		15/11	
Magnitude	1,7	15/11	1,7
Diam. apparent	3,6"	15/11	3,7"
Lever	5 h 58	15/11	5 h 52
Coucher	16 h 58	15/11	15 h 38
Intérêt	○	15/11	○

Trop proche du Soleil, **MARS** est inobservable.

JUPITER

15/10		15/11	
Magnitude	- 2,6	15/11	- 2,4
Diam. apparent	44,4"	15/11	40,3"
Lever	15 h 02	15/11	13 h 03
Coucher	0 h 47	15/11	22 h 49
Intérêt	★★★★	15/11	★★★★

La période favorable à l'observation de **JUPITER** entre dans sa dernière phase. La géante du Système solaire passe à la quadrature le 15 novembre. Cette opposition aura été marquée par l'équinoxe de Jupiter.

SATURNE

15/10		15/11	
Magnitude	1,2	15/11	1,4
Diam. apparent	17,2"	15/11	16,3"
Lever	14 h 22	15/11	12 h 23
Coucher	23 h 16	15/11	21 h 23
Intérêt	★★★★	15/11	★★★★

SATURNE est encore bien placée début octobre pour être observée au télescope. Elle passe à la quadrature le 30 octobre, ce qui marque la fin de la période la plus favorable, mais vous pourrez toujours la viser en début de nuit en novembre.

CHAQUE MOIS, RETROUVEZ LES ÉPHÉMÉRIDES SUR
<https://soundcloud.com/ciel-et-espace/sets/les-eph-m-rides>

URANUS



	15/10	15/11
Magnitude	5,7	5,7
Diam. apparent	3,7"	3,7"
Lever	17 h 40	15 h 35
Coucher	8 h 17	6 h 08
Intérêt	★★★★	★★★★

URANUS passe à l'opposition le 4 novembre. Elle est tout juste visible à l'œil nu dans un ciel bien noir. Au télescope, c'est une bille vert pâle et sans détails. Mais les amateurs parviennent à dévoiler des nuances dans l'infrarouge en imagerie.

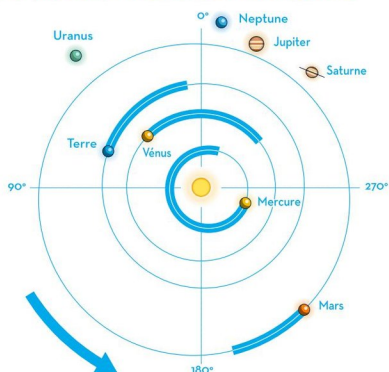
NEPTUNE



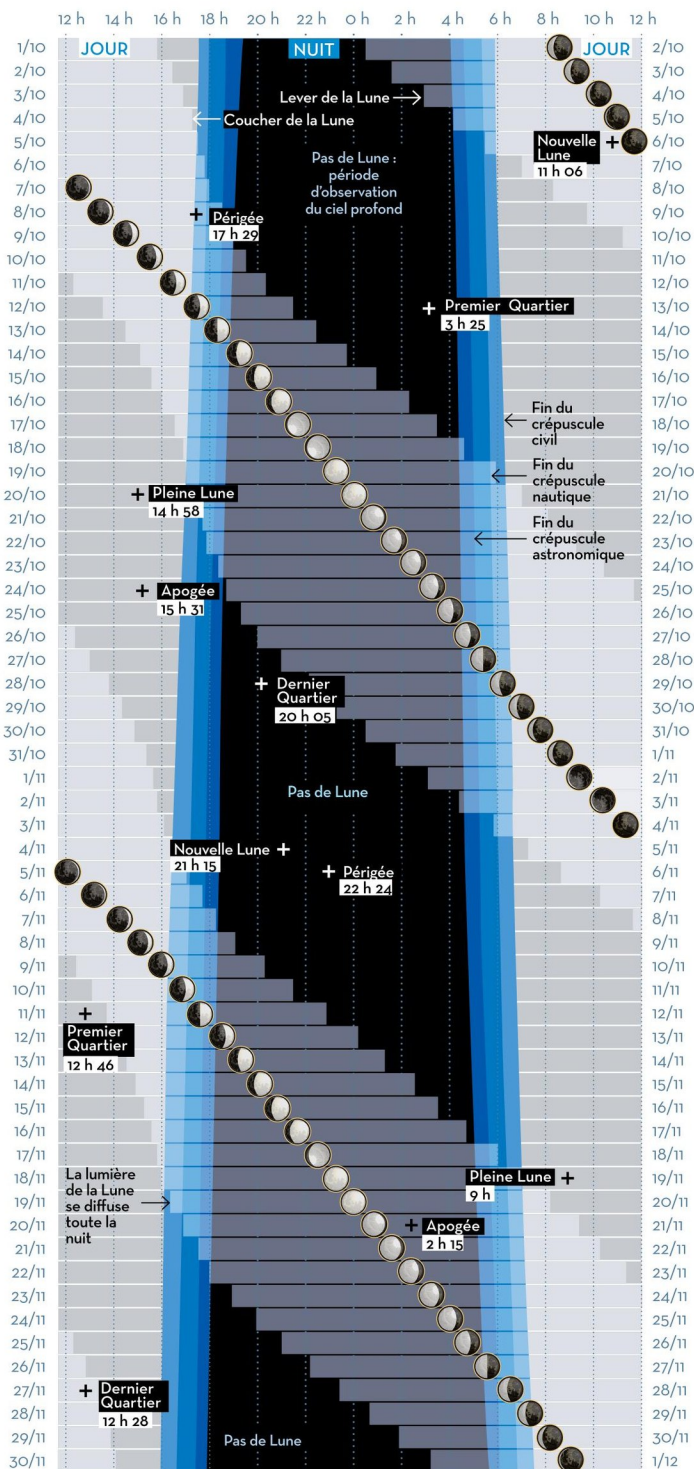
	15/10	15/11
Magnitude	7,8	7,9
Diam. apparent	2,3"	2,3"
Lever	15 h 59	13 h 57
Coucher	3 h 26	1 h 21
Intérêt	★★★★	★★★★

Passée à l'opposition en septembre, **NEPTUNE** est toujours idéalement située pour une observation au télescope. Elle n'est pas du tout visible à l'œil nu, et dans un instrument, elle est surtout intéressante pour sa teinte bleutée assez prononcée.

POSITIONS HÉLIOCENTRIQUES



Les planètes sont positionnées pour le 30 novembre. Pour Mercure, Vénus, la Terre et Mars, la portion de courbe plus large indique leur déplacement depuis le 1^{er} octobre.

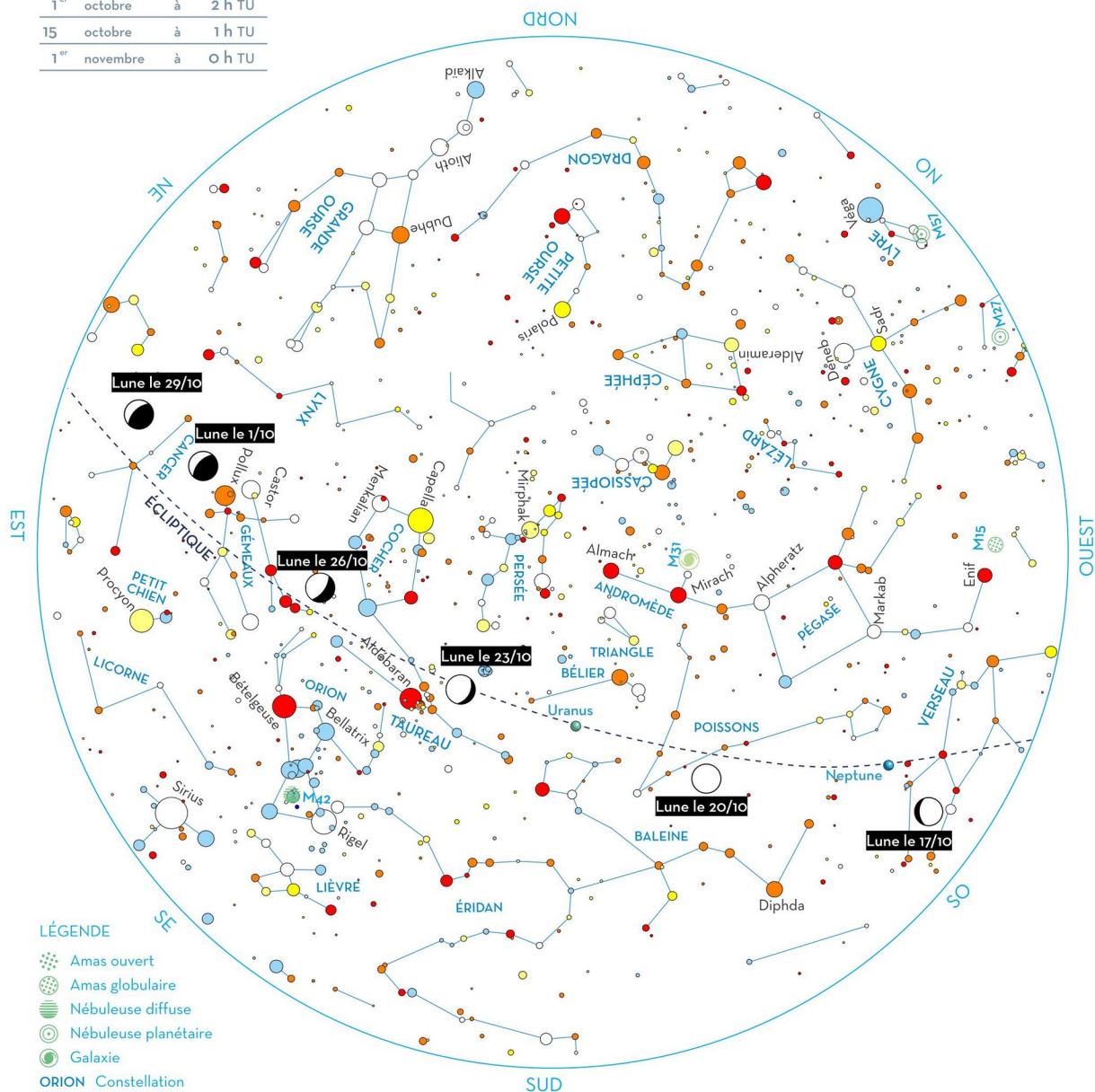


LE CIEL NOCTURNE

Ciel visible à la latitude de Clermont-Ferrand (45° 47' N). Si vous habitez au nord de cette ville, l'Étoile polaire sera plus haut dans le ciel et les étoiles de la partie sud de la voûte céleste seront plus proches de l'horizon (et inversement si vous habitez au sud).

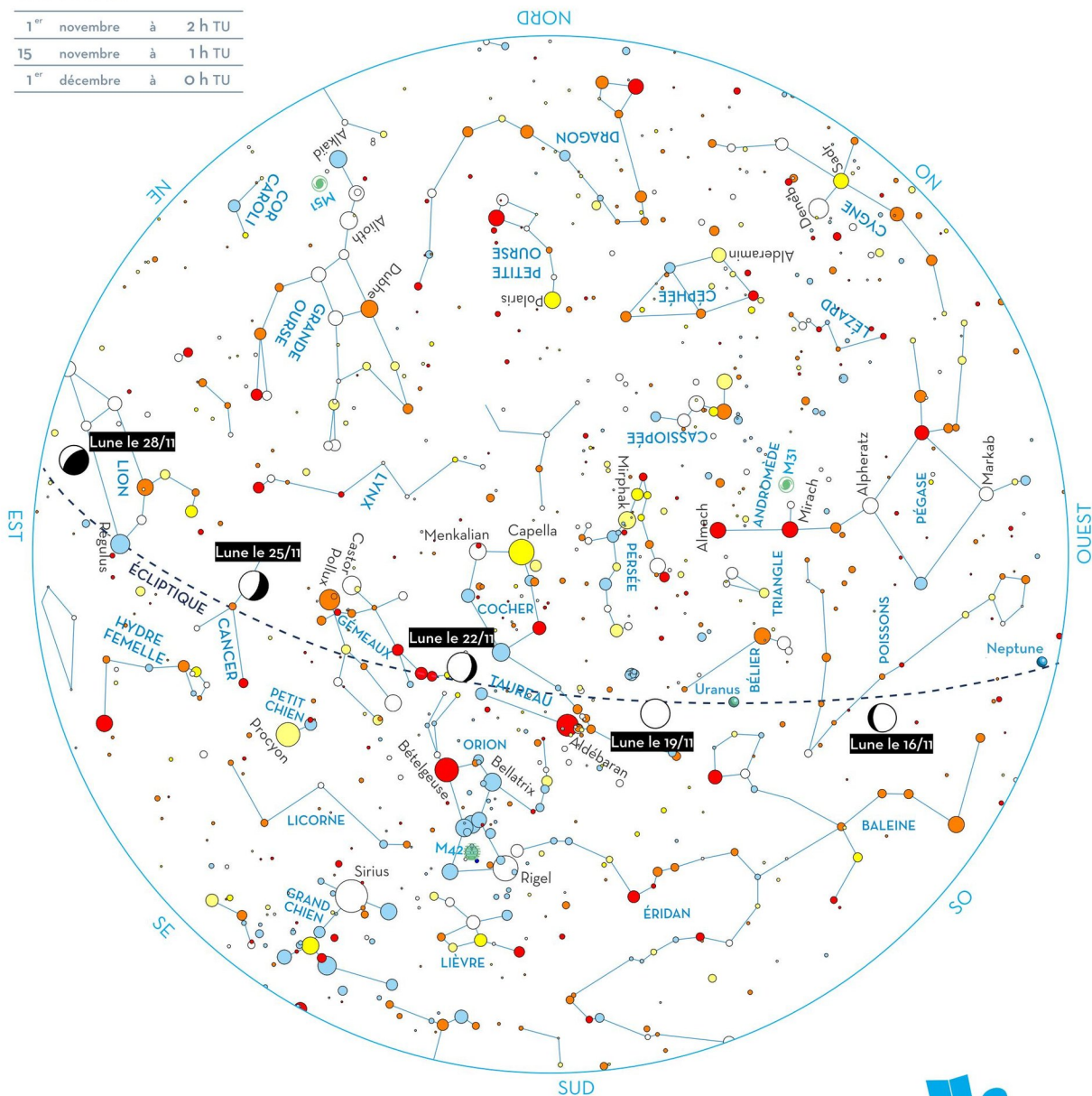
CARTE VALABLE LE :

1 ^{er}	octobre	à	2 h TU
15	octobre	à	1 h TU
1 ^{er}	novembre	à	0 h TU



CARTE VALABLE LE :

1 ^{er}	novembre	à	2 h TU
15	novembre	à	1 h TU
1 ^{er}	décembre	à	0 h TU



COMMENT UTILISER CES CARTES

1 Éloignez-vous de toute source lumineuse. Laissez vos yeux s'habituer à l'obscurité pendant au moins 15 minutes. Pour lire la carte sans être ébloui, utilisez de préférence une lampe rouge.

2 Le centre de la carte correspond au zénith, le point situé au-dessus de votre tête. Une constellation représentée à mi-distance du centre et du bord de la carte est donc à égale distance de l'horizon et du zénith.

3 Si, par exemple, vous observez vers l'ouest, tenez la carte comme indiqué ci-contre, en plaçant le mot "ouest" vers le bas. Les constellations dessinées au-dessus de l'horizon ouest vous font face sur le ciel.



ITINÉRAIRE BIS

VOIR LOKI BRILLER
DANS L'OMBRE DE JUPITER

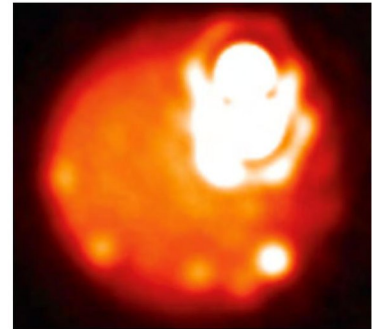
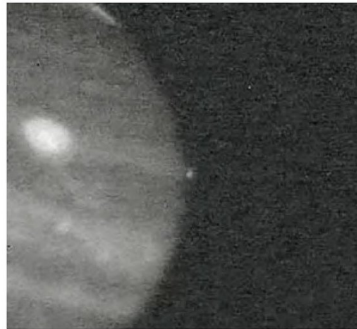
Une observation à priori inédite au niveau amateur est réalisable le 7 octobre. De 19 h 15 à 21 h 13 TU, le satellite Io passe dans l'ombre de Jupiter. Il n'est pas détectable en lumière visible. Mais vous pouvez tenter de l'observer en infrarouge, car il possède le volcan le plus actif du Système solaire : Loki. Et par chance, celui-ci nous fait face

ce soir-là. Mieux, il est bien actif depuis le mois d'avril et devrait encore l'être en octobre à mesure que le couvercle solide de son lac de lave s'affaisse. Ce processus progresse à raison de 1 km par jour environ. Les émissions de sodium des volcans de Io ont déjà été vues avec des moyens amateurs en utilisant un filtre étroit, ou en spectroscopie. Par contre,

aucune observation directe des lueurs du volcan lui-même n'a été réalisée. De leur côté, les professionnels équipés de caméra infrarouge performante ont déjà obtenu des images de Loki qu'il soit dans l'ombre de Jupiter ou pas, ce qui montre que l'observation mérite vraiment d'être tentée. Le frein pour les amateurs jusque-là était



surtout la mauvaise sensibilité de leurs caméras dans l'infrarouge. C'est là qu'il y a du changement. Quelques caméras amateurs sont désormais équipées de l'IMX 462 de Sony, environ 4 fois plus sensible à $1\text{ }\mu\text{m}$ que les caméras de précédente génération. Sa matrice de filtres couleur est transparente dans l'infrarouge si bien qu'un filtre infrarouge permet d'utiliser cette caméra couleur comme une caméra monochrome. C'est autour de cette longueur d'onde de $1\text{ }\mu\text{m}$ que Loki a des chances d'être détectable. Utilisez par exemple un filtre laissant passer les infrarouges à partir de 850 ou 900 nm. La marque QHY fournit un tel filtre d'emblée avec sa caméra. La météo étant parfois capricieuse, si vous avez manqué le passage de Io dans l'ombre du 7 octobre,



À gauche : Io, vu dans l'ombre de Jupiter en 2021 avec le télescope IRTF de la Nasa. Son éclat est dû à Loki. À droite : une image détaillée du satellite avec son volcan prise en 2015 avec le télescope de 10 m de diamètre Keck 2. © Nasa IRTF/Obs. Keck

d'autres occasions se présentent le 14 octobre, entre 21 h 5 à 22 h 10 TU, et le 15 novembre, de 17 h 33 à 18 h 49 TU. Il faut aussi avoir en tête que toute la

surface du satellite est constellée de volcans actifs, donc même si l'activité de Loki baisse prématurément, l'observation mérite d'être tentée.

JUPITER LE 7 OCTOBRE À 19 H 50 TU



TÉLESCOPE SKY-WATCHER MAK-180

UN TÉLESCOPE DE CITADIN

La formule optique Maksutov s'est taillé une belle réputation. Chez Sky-Watcher, nous avons déjà eu de bons résultats en testant le télescope de 150 mm de diamètre. C'est au tour du 180 mm de nous montrer de quoi il est capable.

Première approche : gabarit compact et longue focale

Pour les citadins, les télescopes de type Maksutov présentent deux attraits particuliers. Leur longue focale les rend adaptés à l'observation des planètes, cibles privilégiées en ville. Et leur tube est très compact ; c'est important en appartement. Le Mak-180 de la marque Sky-Watcher n'est pas exactement un Maksutov, même si le terme est utilisé par abus de langage. En fait, il s'agit de sa variante la plus courante : le Gregory-Maksutov. Par rapport au Maksutov classique, il n'a pas de miroir secondaire dédié. Le ménisque à l'avant du tube a une courbure sphérique sur ses deux faces et le côté interne est métallisé au centre pour faire office de

miroir secondaire. Ainsi, il n'y a pas de réglage à faire sur le miroir secondaire, ce qui simplifie beaucoup d'utilisation.

Le gros atout des Maksutov est d'offrir un bon niveau de correction des aberrations de coma dans le champ. Bien mieux que sur les Schmidt-Cassegrain, sur les Cassegrain, et à plus forte raison sur les Dall-Kirkham. L'intérêt est double. Il est possible d'utiliser un grand capteur ; c'est appréciable sur la Lune. Mais surtout, une fois l'alignement optique obtenu, celui-ci est très stable dans le temps. Dernier point important : toutes les surfaces optiques sont sphériques, et c'est la forme la plus facile à réaliser au polissage. Cela permet en principe au fabricant d'assurer un bon niveau de finition. Cette qualité et la stabilité de l'alignement optique sont les raisons

Diamètre : 180 mm

Focale : 2700 mm

Ouverture (F/D) : 15

Obstruction centrale : 30 %

Magnitude limite : 13,3

Accessoires fournis : renvoi coudé 2", chercheur 8x50 et oculaire LET 28 mm

Poids : 8,5 kg

Prix : 1129 €



Avec son tube très compact, le Maksutov 180 mm de Sky-Watcher fait bon ménage avec une monture équatoriale de taille moyenne.

principales de la bonne réputation de ces instruments en observation planétaire.

Revers de la médaille, le ménisque à l'avant du tube est relativement lourd. Sa forte courbure impose un verre épais et double le nombre de surfaces optiques à polir par rapport à un Newton. Du coup, les Maksutov de plus de 180 mm sont rares et coûteux. Le diamètre le plus populaire pour cette formule optique est 150 mm. Toutefois, les 180 mm ont aussi un certain succès et permettent un gain notable en qualité d'observation par rapport à 150 mm.

Tube optique : c'est du lourd !

Quand on n'a jamais utilisé de Maksutov, le poids du tube peut surprendre : 8,5 kg. C'est 2,8 kg de plus qu'un Schmidt-Cassegrain de 203 mm ! En fait, le miroir primaire fait 193 mm de diamètre, et non 180 mm, car le faisceau diverge quand il passe à travers le ménisque de 180 mm à l'entrée du tube. Et ce ménisque est en lui-même assez lourd en raison de son épaisseur. Voyons le bon côté des choses : cette pièce optique est plus solide que la lame de fermeture d'un Schmidt-Cassegrain.

Le Maksutov 180 est doté d'un système de mise au point semblable au Schmidt-Cassegrain : le miroir primaire coulisse le long du baffle central. Cette solution mécanique a presque toujours un défaut : le fait de pousser ou de tirer sur le miroir le fait basculer légèrement. La cible bouge dans le champ, et dans les cas les plus prononcés, ce basculement fait perdre l'alignement optique. Ce défaut appelé *shifting* est heureusement très contenu ici, avec un déplacement de l'astre visé d'environ 10 secondes d'arc. Soit environ la moitié de la taille du globe de Saturne. Un léger ajustement de l'alignement optique a été nécessaire sur le tube testé. Il se fait au niveau du miroir primaire par un jeu de trois paires de vis tirantes et poussantes. Obtenir un réglage parfait n'est pas évident, car le défaut évolue lentement dans le champ. Il faut prendre le temps nécessaire en se disant qu'une fois l'alignement optique effectué, il est stable en usage normal. N'hésitez pas à grossir la figure de diffraction de façon exagérée à 600 ou 700x, avec un oculaire de 4 mm par exemple.

Côté porte-oculaire, on dispose d'une sortie au coulant 2". C'est cohérent avec le champ disponible de 41 mm (soit 52 minutes d'arc). Le pas de vis utilisé est le même que sur les Schmidt-Cassegrain. On peut donc monter une grande variété d'accessoires : réducteur de focale, porte-oculaire motorisé, etc. La présence d'un renvoi coudé 2" à miroir dans les accessoires d'origine est appréciable. Quant au chercheur de type 8x50, il est très confortable. En revanche, on pourrait souhaiter un réticule évidé au centre pour plus de précision



Cette vue de l'avant du tube montre la partie métallisée faisant office de miroir secondaire. Son obstruction de 30 % contribue au bon niveau de contraste.



À l'arrière du tube, le porte-oculaire au coulant 2" permet de monter une grande variété d'accessoires.



Bien vu : lorsque l'on dévisse le porte-oculaire, on accède à un pas de vis au standard des Schmidt-Cassegrain Meade et Celestron. Ci-contre, le renvoi coudé et l'oculaire fournis d'origine.



lors du pointage, d'autant que le fil du réticule n'est pas très fin. En observation visuelle, ce n'est pas un problème, mais c'est utile pour centrer une planète dans le capteur d'une caméra. Par ailleurs, ce réticule n'est pas éclairé, mais rien de choquant en milieu de gamme. Il est toujours possible de le remplacer. L'excellent Vixen 7x50 par exemple est vendu 149 € et corrige ces petits défauts. Notons enfin que ce type de tube optique peut être sensible à la buée, il faut à minima prévoir un pare-buée en carton ou avec un tapis de sol, et idéalement investir dans une résistance chauffante.

Observation planétaire : des images contrastées

En observation planétaire, un Maksutov a l'avantage de ne pas avoir d'araignée pour maintenir le miroir secondaire, ce qui limite la diffusion liée à la diffraction. Avec une ouverture de 15, on pourrait attendre une obstruction due au miroir secondaire assez basse, mais le bafflage porte tout de même cette obstruction à 30 %. C'est mieux que sur l'ensemble des Schmidt-Cassegrain du marché (autour de 35 % d'obstruction). Ce facteur participe à l'impression de contraste que l'on a à l'oculaire, et c'est même un peu mieux que ce que l'on trouve sur des tubes spécialisés dans l'observation planétaire comme les Dall-Kirkham de Takahashi ou les Cassegrain Kepler par exemple (autour de 32 %).

En observation visuelle, il est souhaitable d'équiper le télescope d'un oculaire de 13 à 15 mm pour avoir un grossissement de base de l'ordre de 200x. Optez pour des oculaires à grand champ puisque la correction d'image est bonne sur une large plage. Pour profiter les bons soirs du plein potentiel de l'instrument, prévoyez un oculaire de 6 à 7 mm pour grossir 380 à 450x. Le choix du grossissement maximal est affaire de gout. Certains amateurs choisissent de se limiter à 2 fois le diamètre du télescope exprimé en millimètres, mais en général on pousse entre 2 et 2,5x. Cette optique le tolère sans problème.

Les images de la Lune sont nettes et contrastées, avec un grossissement de 300x. En tirant parti de l'éclairage du Soleil sur les reliefs lunaires, il est possible de mettre en évidence des détails très fins, de moins de 1 km. La rainure de Hadley, près des Apennins, est évidente et, à 450x, pour peu que la turbulence atmosphérique soit faible, on peut détailler les fines coulées de lave voisines du cratère Prinz, dans l'océan des Tempêtes. D'autres formations d'une taille apparente accessible mais faiblement contrastées, comme le groupe de cratères de la Patte de chat (2,5 km de diamètre), près du site d'Apollo 11, sont discernables. Les abords du gros cratère Tycho, dominés par des coulées de roches fondues, révèlent également de beaux détails.

Sur les planètes, le niveau de contraste et de détail est bon. La Grande Tache rouge de Jupiter montre une différence



Ces portraits de Jupiter et de Saturne datent du 11 juin 2021. Leur finesse est d'autant plus notable que les images ont été prises plusieurs mois avant l'opposition. La taille apparente de Jupiter était alors de 42", contre 49" à l'opposition.



de tons entre son centre et sa périphérie. De nombreuses structures nuageuses turbulentes se révèlent et les bandes tempérées sud et nord, pourtant pastels, sont perceptibles. Sur les anneaux de Saturne, la division de Cassini apparaît nettement. Sur Uranus, une différence de ton entre la région polaire (grossièrement tournée vers la Terre ces dernières années) et les régions équatoriales est même sensible ! Ce genre de détail laisse supposer une faible diffusion de l'optique, ce que l'observation de la naine blanche Sirius B confirme. Le fait de voir sans ambiguïté cet astre de magnitude 8,5 à seulement 10" de l'éblouissante Sirius (magnitude -1,4) constitue un bon test.

En imagerie, l'ouverture de f/15 est très intéressante : elle permet d'avoir le bon échantillonnage sans avoir à ajouter de lentille de Barlow. À condition du moins de rester sur des caméras dotées de petits pixels. Un capteur comme l'IMX290 avec des pixels de 2,9 μm sont adaptés en monochrome. En couleur, il faut plutôt aller vers des pixels de 2,4 μm que l'on trouve sur les IMX178 et les IMX183. Les résultats obtenus sur Jupiter et Saturne montrent que l'on accède déjà à de nombreux détails même avec 180 mm. Sur Saturne, la division de Cassini fait tout le tour, et Jupiter montre des détails dans la Grande Tache rouge. Une fois que l'on se pique au jeu, il est tentant de vouloir monter en diamètre, mais il n'est pas évident de trouver un tube (autour de 250 mm, par exemple)

offrant la même fiabilité à l'utilisation. La stabilité de l'alignement optique est vraiment une clé de réussite en imagerie planétaire. Il faut regarder du côté des Edge HD de Celestron par exemple, mais le saut budgétaire est important, le 235 mm est à plus de 3 000 € par exemple.

Observation du ciel profond : achats à prévoir

L'oculaire de 28 mm fourni offre un grossissement de 96x adapté sur les objets du ciel profond contrastés, comme les amas globulaires et certaines nébuleuses. C'est un accessoire d'entrée de gamme avec seulement 56° de champ apparent, qui convient pour débuter. Il permet en particulier de voir la Lune en entier. À terme, il faut viser des accessoires plus haut de gamme pour tirer pleinement parti du télescope. En particulier avec un rapport F/D de 15, il est intéressant de s'équiper d'un oculaire de très longue focale. On trouve des 56 mm autour de 150 €, qui permettent de monter à une pupille de sortie de 3,75 mm pour un grossissement de 48 x. Des valeurs tout à fait acceptables en observation visuelle sur des objets faibles, même si un tel tube ne permettra jamais d'embrasser des champs larges comme celui des Pléiades.

Évidemment, même avec un oculaire de 32 mm, le plus faible grossissement atteint avec ce télescope approche 85 x, ce qui ne permet pas l'observation d'objets étendus du ciel profond. Impossible par exemple d'avoir l'amas ouvert des

Pléiades en entier dans le même champ. Toutefois, cela n'est pas rédhibitoire pour la plupart des nébuleuses et surtout des galaxies. Au contraire, ce grossissement assombrit le fond du ciel et permet des observations confortables. Bien que nous n'ayons pas pu bénéficier d'un ciel exempt de pollution lumineuse lors des tests, les amas globulaires et les nébuleuses planétaires sont des cibles de choix avec cet instrument. L'exploration de la nébuleuse d'Orion M 42 est également un très beau spectacle : les étoiles centrales du Trapèze sont aisément résolues et les nombreuses différences de tons dans les nuages gazeux qui les entourent sont bien perceptibles. Sous un ciel de campagne, un télescope de type Newton ouvert à f/5 sera bien plus polyvalent.

En photo, le rapport d'ouverture de f/15 est encore plus problématique sur des cibles peu lumineuses. Il faut un temps de pose 9 fois plus long qu'avec un instrument ouvert à f/5. C'est rédhibitoire.

NOUS AVONS AIMÉ

Contraste en observation planétaire

Stabilité optique

Compatibilité avec les accessoires de Schmidt-Cassegrain

NOUS N'AVONS PAS AIMÉ

Manque de finesse du réticule du chercheur

Sensibilité à la buée

Vignetage important sur un capteur 24x36

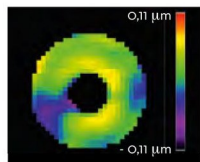
NOTRE CONCLUSION

À l'issue de ce test, le Maksutov 180 de Sky-Watcher se montre fidèle à sa réputation. C'est vraiment un des meilleurs choix pour observer les planètes en ville. On apprécie les images contrastées et la stabilité des réglages, le tout dans un tube très compact. Autre atout : une monture de taille moyenne suffit pour supporter le tube (GP, EQ5, HEQ5, EM-10...). On trouve en occasion des montures motorisées de ce calibre à moins de 500 €. En imagerie, on obtient de bons résultats, mais si on se pique au jeu, on risque de vouloir monter en diamètre pour pouvoir aussi détailler Uranus et Neptune. Notez enfin que le même tube optique existe sous la marque Orion à 1099 €. C'est une option à considérer si on a déjà un chercheur et un renvoi coudé.

NOTATION

Qualité optique	★★★★★
Mécanique du tube	★★★★★
Finition	★★★★★
Observation visuelle	★★★★★
Imagerie planétaire	★★★★★
Imagerie du ciel profond	★★★★★
Rapport qualité/prix	★★★★★

QUALITÉ OPTIQUE

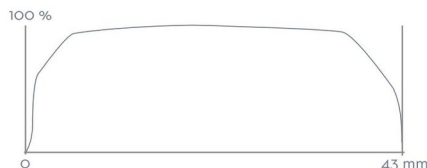


Ci-contre le front d'onde mesuré en collaboration avec Imagine Optic. En violet, les creux, et en rouge les bosses. Les défauts ont été mesurés dans

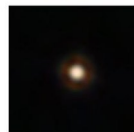
le vert à 550 nm, on relève des écarts typiques de L/21 RMS et des écarts extrêmes de L/4 PTV. C'est un très bon résultat. Il n'y a pas vraiment de défaut prédominant, mais plutôt des vallées et des collines sur le front d'onde, typiques d'une optique issue de la production industrielle. Sans ces défauts de finition, l'optique serait à L/32 RMS et L/7 PTV ! Sky-Watcher gagnerait à pousser plus loin le polissage de ces surfaces sphériques.

VIGNETAGE

Le champ de pleine lumière est relativement large. On n'a pas de baisse de plus de 10 % dans un cercle de 31 mm correspondant à 39,5'. On couvre ainsi largement la Lune large de 31'. Par contre, la baisse de lumière est rapide en dehors de cette zone et tombe même à 0 % dans les coins d'un capteur 24x36 mm. On note par ailleurs que le champ de pleine lumière n'est pas tout à fait centré. Le décalage est de l'ordre de 1 mm.



UNE ÉTOILE À LA LOUPE



L'observation d'une étoile à fort grossissement montre un anneau de diffraction assez homogène. Le

rapport de Strehl est de 0,92, c'est très satisfaisant à ce niveau de gamme. Le rapport tenant compte de l'obstruction est de 0,76, on est donc proche de la valeur de 0,8 nécessaire pour atteindre la limite de diffraction.

Le guide
indispensable
pour explorer
le ciel au
téléscope !



75 fiches d'observation • Cartes claires et précises • Système solaire et ciel profond

Suite au succès du Ciel aux jumelles, Stelvision publie **Le Ciel au télescope**, son nouveau guide de référence tant attendu par tous les heureux possesseurs de lunettes ou télescopes ! Adapté aussi bien aux débutants qu'à ceux souhaitant progresser, il se prête parfaitement à un usage sur le terrain grâce à sa couverture robuste et sa reliure spirale.

Disponible en librairie, boutiques spécialisées, chez Nature & Découvertes et sur stelvision.com - 29 € TTC



MAXIME OUDOUX

Maxime Oudoux, membre du collectif d'astrophotographes NOX, est photographe professionnel.

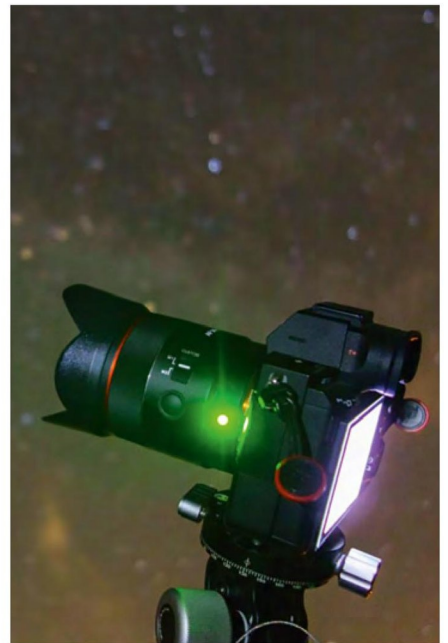
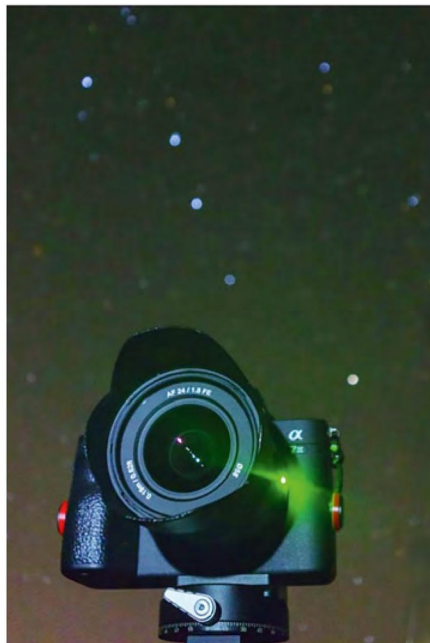
LE SAMYANG 24 MM F/1,8 FE UN OBJECTIF DE QUALITÉ

Commercialisé depuis avril à 499 € environ, un nouvel objectif 24 mm Samyang fait parler de lui. Il est compact et très léger (seulement 230 g), avec sa construction plastique et métallique. Peu de commandes sont disponibles, ce qui permet de bien le manipuler de nuit sans se tromper. La prise en main est donc très

bonne une fois monté sur le boîtier. L'objectif se fait oublier et toutes ses fonctions sont facilement accessibles. Il dispose d'un bouton commutateur de mode qui permet d'attribuer des fonctions à la bague de mise au point. Par défaut, la bague contrôle la mise en point en mode 1 (si l'appareil est en mode manuel) et

l'ouverture du diaphragme en mode 2. Ces fonctions sont paramétrables via le "dock-station" de Samyang. La bague de mise au point est très douce à manipuler. Le moteur qu'elle contrôle est réactif et silencieux. La course de la bague est assez longue, ce qui permet une grande précision de mise au point,

La LED sur le côté du Samyang 24 mm f/1,8 FE indique quand la mise au point est à l'infini, ce qui se fait en une seule pression sur le bouton dédié.

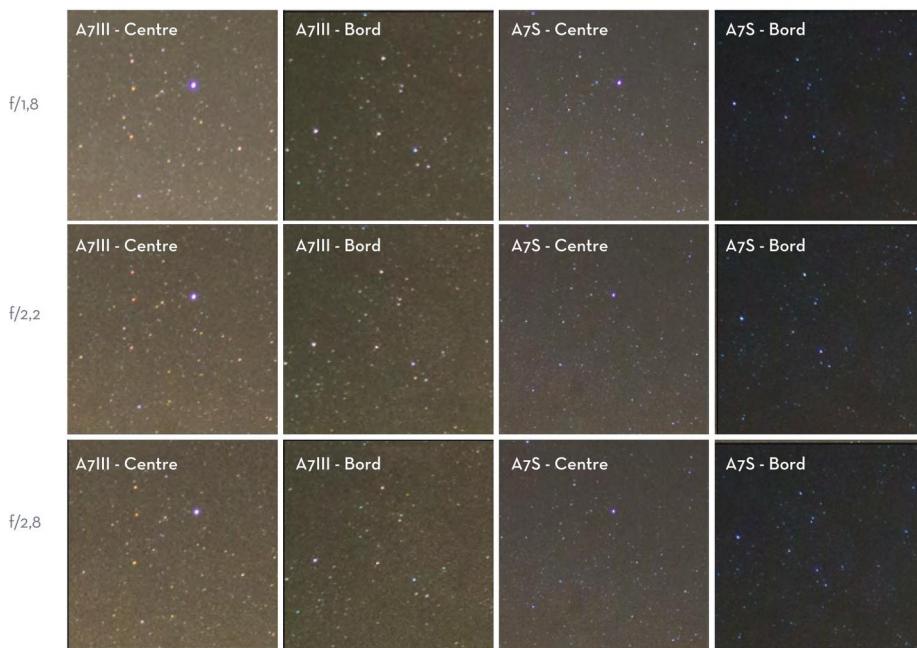


particulièrement pour des sources lumineuses ponctuelles comme les étoiles. L'innovation de ce Samyang 24 mm f/1,8, c'est le bouton de mémorisation de la mise au point. Celui-ci permet d'activer le mode mise au point à l'infini, ou mode "astrophotographie". Pour l'activer, il suffit d'allumer le boîtier tout en appuyant le bouton de l'objectif. Une LED rouge va alors s'allumer pour indiquer le passage en mode "astro". Celle-ci passera au vert lorsque la mise au point se sera calée sur la position "infini" enregistrée dans l'objectif (position d'usine par défaut, ou paramétrable par l'utilisateur). Après de multiples essais, la fonction du rappel de mise au point sur l'infini paraît stable. On peut ainsi, en toute confiance, se reposer sur cette fonction. L'astrophotographie est une discipline exigeante pour les optiques. En effet, certains défauts qui pourraient être acceptables, voire invisibles de jour, deviendront bien visibles avec un ciel étoilé. Nous avons testé l'objectif sur un

Sony A7III défiltré de 24 Mpx (pixels de 5,95 microns) et sur un Sony A7S de 12 Mpx non défiltré (pixels de 8,4 microns) en photographiant une scène similaire. Il apparaît que l'objectif testé est un peu décentré, les étoiles ont des défauts plus prononcés sur le bord droit de l'image. Avec le A7III, la coma est relativement présente sur les bords des images à f/1,8. Elle est accompagnée d'un léger astigmatisme. En fermant à f/2 et f/2,2, les étoiles de bord de champ commencent à s'arrondir. Il faut fermer à f/2,5 pour obtenir des étoiles de forme acceptable. En ce qui concerne l'aberration chromatique, elle est très prononcée à f/1,8, particulièrement sur les étoiles les plus brillantes. Elle se manifeste sous la forme de halos bleu-violet autour des étoiles, et de franges sur les étoiles situées en bord de champ. En fermant à f/2,5 ou même à f/4, le défaut diminue fortement sans disparaître. Le Sony A7s avec ses pixels plus grands est plus tolérant. À f/1,8, le piqué est

globalement bon. En revanche, on perçoit de l'astigmatisme et du chromatisme sur les étoiles les plus brillantes. En fermant à f/2, le piqué et le rendu général s'améliorent considérablement. Le chromatisme diminue également, mais reste présent sous forme de halos bleu-violet autour des étoiles les plus brillantes. À f/2,2 et f/2,5, il n'y a pas de gain notable sur l'ensemble de l'image. En revanche, quand on ferme l'objectif à f/2,8, l'optique se révèle vraiment très bonne sur l'ensemble du champ. Le chromatisme devient résiduel et pourra être facilement corrigé en posttraitement. À f/4, les images deviennent parfaites.

Le bilan de ce test est donc positif avec un bon rendement à f/2. Il est plutôt adapté aux appareils dotés de gros pixels. Au-delà de l'utilisation en paysage nocturne, cet objectif est très performant en photo quotidienne. La qualité d'image est au rendez-vous, l'autofocus est très réactif, et le rendu des couleurs est fidèle.



Ci-contre, le résultat des tests à f/1,8, f/2,2 et f/2,8. On voit le résultat avec un A7III au centre (colonne de gauche), et au bord (colonne suivante). Puis avec un A7S au centre et au bord.



Mickaël Coulon

Ce panorama a été pris à l'observatoire du pic de Château-Renard, perché au-dessus de Saint-Véran, la plus haute commune d'Europe. À gauche vers l'est, le col Agnel (2745 m) délimite la frontière italienne. Au-dessus de l'observatoire, les premiers astres s'allument avec Jupiter, le Sagittaire et le Scorpion.

Objectif Samyang 35 mm / Canon EOS 6D / assemblage avec le logiciel Autopano de 21 images d'un temps de pose de 1/6 s à 2 s



Adressez-nous vos photos à :
ouvertlanuit@cieletespace.fr. Merci de nous
envoyer vos images à leur résolution
maximale, de préférence dans un format
JPEG peu compressé.



Soumyadeep Mukherjee

Cette vue du Soleil combine 100 photos prises jour après jour pour montrer l'activité solaire. En tout, 19 régions actives sont suivies minutieusement du 25 décembre 2020 au 3 avril 2021. Cette composition souligne la répartition des taches solaires toujours situées de part et d'autre de l'équateur vers 25° de latitude. Il est intéressant de noter que le matériel utilisé est extrêmement simple : un boîtier photo et un téléobjectif de milieu de gamme.

Téléobjectif Sigma 150-600 mm / Nikon D5600



Clément Varet

Clément, 17 ans, s'est mis à la photographie du ciel depuis un an. On l'encourage à poursuivre dans cette voie, car il fait déjà preuve d'une bonne maîtrise technique, de la prise de vue jusqu'au traitement avec cette belle photo de l'Écu de Sobieski. Il a modifié lui-même le filtre de son boîtier pour en accroître la sensibilité dans le rouge. C'est une opération délicate, mais qui permet une nette économie.

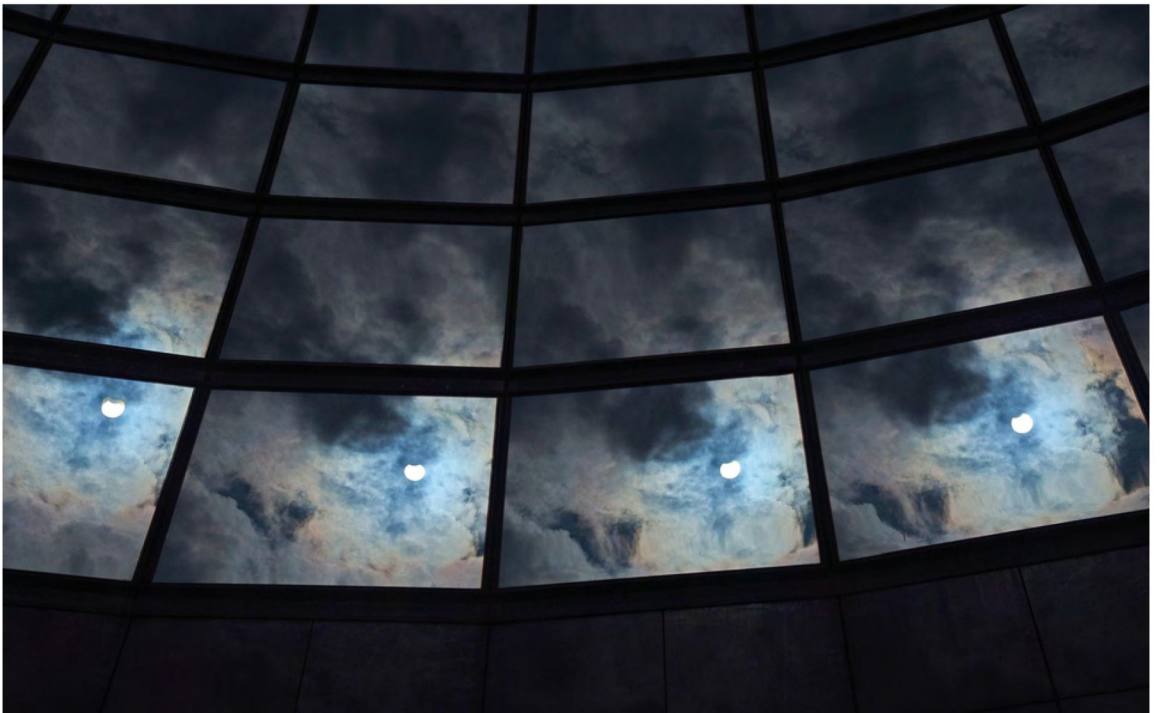
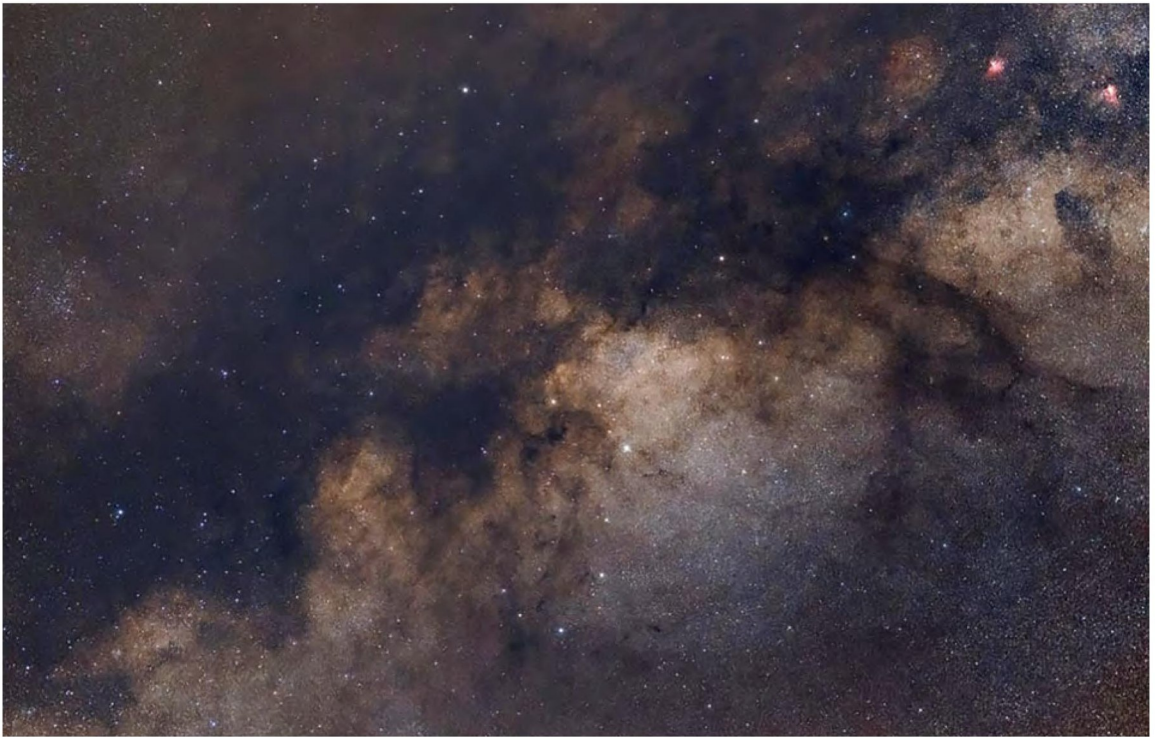
Objectif Canon 50 mm / Canon EOS 1100D / 36 poses de 45 s



Yves Courtel

Pour réaliser cette photo de l'éclipse de Soleil du 10 juin, Yves a utilisé le reflet de notre étoile dans la façade d'un immeuble miroir, dont la courbure globale est celle d'une sphère. En se plaçant à la moitié du rayon de courbure, il est possible pour le Soleil de se refléter sur chaque vitre.

Objectif 75 mm / Nikon D750 / 1/1000 s à f/8 et 240 ISO





Olivier Aguerre

La nébuleuse de la Tête de singe a été photographiée depuis Orry-la-Ville, dans l'Oise, dans un environnement relativement pollué par les lumières. Elle a été obtenue avec des filtres oxygène et hydrogène. C'est donc une vue en fausses couleurs, mais elle tente de s'approcher de la teinte réelle de l'objet en assignant le rouge à l'hydrogène, le bleu et le vert à l'oxygène. Des photos ont aussi été prises avec des filtres R, V, B classiques pour restituer la couleur des étoiles.

Newton 250/1000 / Caméra Atik One / 10,2 h à travers des filtres R, V, B, HII et OIII



Dominique Duchesneau

Ces vues de Mercure sont assez exceptionnelles : rares sont les amateurs à être parvenus à dévoiler la queue de sodium de la planète. Cette structure est due à son interaction avec le vent solaire. Théorisée dans les années 1980, elle n'a été observée pour la première fois qu'en 2001. Nul besoin d'un gros instrument pour la dévoiler. Le secret est plutôt l'utilisation d'un filtre à bande étroite centré sur la raie d'émission du sodium. Sur l'image du 8 mai, 7 poses de 1 min ont été additionnées, et 14 pour l'image du 13 mai.

Lunette Astro Professional 80ED / EOS 500 D



Pierre-Alain Borgeau

C'est en lisant les éphémérides de *Ciel & espace* que Pierre-Alain a eu l'idée de photographier, du 24 février au 2 mars, le rapprochement entre la planète rouge et l'amas stellaire des Pléiades. La vue des Pléiades a été obtenue en combinant 50 poses de 1 min. L'image du 2 mars est presque au plus proche. Elle a un aspect diffus en raison d'un voile nuageux ce soir-là. Le ciel était couvert les soirs suivants.

Objectif Carenar 55 mm / EOS 600 D



Benoît Goffin

Ce panorama sur la vallée de la Meuse montre l'une des plus belles apparitions de nuages noctiluques de 2021, le 18 juin à 22 h 08 TU. Situés à la frontière de l'espace vers 85 km d'altitude, ces nuages sont éclairés de dessous par le Soleil, en début ou en fin de nuit. Ils devraient se faire plus rares dans les années qui viennent, car ils sont surtout visibles en période de minimum d'activité solaire.

Objectif Sigma 17-50 / Pentax K3 / assemblage de quatre vues à 8 s à f/5,6 et 100 ISO





À STRASBOURG, UN PLANÉTIARIUM QUI MET LA RECHERCHE À L'HONNEUR

Le chantier s'est ouvert. Il y a près d'un an, l'université de Strasbourg a débuté la construction de son nouveau planétarium. Financé par l'Opération Campus de l'État, l'Eurométropole de Strasbourg et le fonds Feder, il sera situé près de l'observatoire de Strasbourg. La salle de spectacle pourra accueillir 138 visiteurs et possèdera un dôme-écran de 15 m de diamètre. Mais avant tout, il sera le premier planétarium "universitaire" en France. Y seront

projetées des données scientifiques avec lesquelles travaillent les astronomes. "Grâce à un simulateur astronomique, nous pourrions projeter sur le dôme tous les objets célestes tels qu'ils sont vus depuis la Terre, annonce Milène Wendling, la responsable du planétarium. Mais nous pourrions également montrer l'ensemble des données du CDS [Centre des données astronomiques de Strasbourg], une base utilisée par la communauté des chercheurs. Cela nous permettra d'être au plus

près de la recherche scientifique locale, mais aussi de sensibiliser le public à la quantité de données disponibles et la nécessité de les classer, tant elles sont nombreuses." En faisant la part belle à cette data visualisée, le nouveau lieu de médiation scientifique sensibilisera le public à la démarche scientifique. "Cela nécessitera un travail d'équipe entre le constructeur du simulateur astronomique, les médiateurs scientifiques, les ingénieurs du CDS, et les astronomes de l'observatoire de



L'observatoire de Strasbourg a lancé le chantier de son futur planétarium. Son dôme de 15 m de diamètre pourra accueillir quelque 140 personnes. © C. Schroder/université de Strasbourg



Strasbourg”, note Milène Wendling. Créé en 1972 à l’observatoire de Strasbourg, le CDS a pour mission la collecte et l’homogénéisation des données astronomiques. Reconnu à l’échelle mondiale, son site héberge notamment Simbad, une base de données de référence des objets situés hors du Système solaire. Ou encore l’atlas interactif Aladin. Un travail de répertoire utile aux astronomes du monde entier, aujourd’hui mis à l’honneur. En attendant l’ouverture du planétarium, prévue pour la fin de l’année 2022, une campagne de dons a été lancée ⁽¹⁾. Celle-ci permettra d’investir dans des équipements techniques, d’adapter l’offre aux publics empêchés et de proposer un contenu culturel inédit et des programmations audiovisuelles, liant les arts et les sciences.

ISABEAU BERTRIX

(1) <https://fondation.unistra.fr/projet/jardin-des-sciences/>



Les jeunes montreurs d'étoiles ont fait découvrir la Lune au public sur les quais de la Seine le 18 juin 2021. © SAF

REPRENDRE CONFIANCE EN DEVENANT MONTREUR D'ÉTOILES

Pour la plupart réfugiés ou enfants de migrants, dix jeunes âgés de 17 à 25 ans ont offert au public parisien de regarder le ciel au télescope. Ce projet “Montreurs d’étoiles” est porté par la Société astronomique de France (SAF) et l’association France fraternités. Il a pour but de redonner confiance en soi à des jeunes en panne d’insertion sociale. Les 17 et 18 juin, la première promotion de montreurs d’étoiles, originaires du Mali, Sri Lanka, Niger, Ile Maurice, Colombie, Algérie et Maroc, a suivi une formation pour découvrir les astres, incluant jeux de rôle et exercices d’improvisation théâtrale. Puis le second soir, le groupe a installé des télescopes prêtés par l’université Paris-Saclay devant la péniche Marcounet, sur les quais de Seine. Grâce à eux, près de 300 personnes ont observé la Lune ce soir-là. “Les jeunes se sont transformés. Ils ont eu le sentiment de compter, d’être dans la position du passeur de connaissances”, se réjouit Sylvain Bouley, président de la SAF. Les montreurs d’étoiles ont ensuite pu récupérer les instruments pour se préparer au festival international *On the moon again* les 16, 17 et 18 juillet. “D’autres promotions de montreurs d’étoiles verront le jour”, annonce Sylvain Bouley. À Paris ou ailleurs, là où le tissu social est écorché.

GL

NUITS DES ÉTOILES

UN 30^e ANNIVERSAIRE
FÊTÉ À MONTSOURIS

Pendant 4 heures,
l'animateur Guillaume
Laigle (casquette rouge)
a délivré explications et
histoires d'astronomie à
un public captivé.

Photos : G. Langin

Que faire aux Nuits des étoiles en attendant que le ciel s'assombrisse ? Écouter des histoires. De préférence racontées par un passionné. Heureuses circonstances, c'est ainsi que s'est ouverte l'édition 2021 du festival, du côté de l'Association française d'astronomie (AFA). Le vendredi 6 août 2021, dans le parc Montsouris de la ville de Paris – l'un des 251 sites en France mobilisés pour l'évènement –, Guillaume Laigle a pris la parole dès 21 h auprès de dizaines de curieux venus tout spécialement. *"C'était annoncé dans le journal du 14^e arrondissement"*, nous disent les uns, *"sur le site sortiraparis.com"* pour d'autres. Premier enseignement

prodigé par l'animateur de l'AFA : la lecture d'une carte du ciel, celle spécialement conçue pour l'occasion et remise à chacun. Une fois tout le monde rodé à son utilisation, la nuit ne s'est pas tout à fait installée. Pis, les nuages sont encore nombreux au-dessus de la capitale. Peu importe, les histoires permettent aussi de patienter sous la grisaille. Celles d'Ératosthène notamment, rapportées par Guillaume Laigle et qui offrent par exemple de se souvenir que les constellations d'Orion et du Scorpion ne sont jamais ensemble dans le ciel : le premier évite le second, qui l'aurait piqué mortellement, sous les ordres d'Artémis, déesse jalouse de la réputation d'excellent chasseur que



l'on faisait à Orion. Tandis que le conteur allume une lumière rouge, sous son parapluie décoré de la voute céleste pour illustrer ses propos, sept autres coquelicots se mettent à briller tout autour. Chacune de ces lampes est placée sous un télescope, manipulé par les soins d'un animateur de l'AFA, pendant que s'allongent les files d'attente pour y jeter un œil.

Les astres enfin au rendez-vous

Les étoiles Véga et Antares sont apparues d'abord dans le ciel. Mais l'une des favorites de cette nuit sera Albiréo. *“Une étoile double optique : bien que ces deux étoiles paraissent proches visuellement, les récentes observations du télescope spatial Gaia montrent qu'elles sont en fait très éloignées”*, rapporte Anaïs Lemoine, pédiatre de profession aux commandes de son télescope C8. Alors que se dissipent les derniers nuages récalcitrants, Saturne puis Jupiter surgissent au-dessus des arbres vers le sud-est. Et le public continue d'affluer. Pour de nombreuses personnes, un cap est franchi :

grâce aux anneaux de Saturne, beaucoup réalisent que ce qui brille au-dessus de nos têtes ne se résume pas à des points lumineux. Se lasse-t-on de montrer encore et toujours les mêmes cibles ? *“Jamais. À chaque nouvelle personne, je fais une remise à zéro. C'est un plaisir de transmettre, peut-être parce que, plus jeune, je voulais être professeur”*, livre Sébastien Cadet, animateur. Au terme de plus de quatre heures d'échanges avec son audience captive, Guillaume Laigle ajoute : *“Les Nuits des étoiles, c'est l'occasion de parler d'épistémologie et d'histoire de l'astronomie, plutôt que d'aspects techniques comme dans les autres CCSTI [Centres de Culture scientifique, technique et industrielle, NDLR]. J'ai réalisé que ce qui intéresse les gens c'est de savoir comment la science s'est construite, plutôt que de s'entendre dire 'c'est comme ça'.”* Malgré la météo capricieuse de l'été 2021, en plus d'un contexte sanitaire défavorable, nous étions plus de 800 pour le lancement du 30^e anniversaire des Nuits des étoiles, à Paris.

Samedi 7 août 2021

Beffroi de Montrouge

Quelque 200 visiteurs sont passés observer le Soleil, puis les planètes, sur le toit du Beffroi de Montrouge. Saturne et Jupiter ont brillé pour le plaisir de tous.

Dimanche 8 août 2021

Jardin d'Éole

Pour la troisième Nuit des étoiles, 70 curieux ont bravé les nuages. Rendez-vous était donné dans le jardin d'Éole, dans le 18^e arrondissement. Avant que le mauvais temps ne se dissipe, Rémi Leblanc-Messager a animé les discussions.



Grâce à un QR code (ci-dessus), les curieux ont récupéré une carte du ciel numérique, avant de s'affairer autour des 7 télescopes installés par les animateurs de l'AFA (droite).

DAVID ELBAZ, ASTROPHYSICIEN

"PARLER DE L'UNIVERS, C'EST PARTAGER UN ÉMERVEILLEMENT"

Directeur de recherche au CEA, David Elbaz compte parmi les nombreux astrophysiciens qui participent aux Rencontres du ciel et de l'espace (RCE) en ce mois de novembre. Un événement auquel le spécialiste de la formation des galaxies aime prendre part, tous les deux ans à la Cité des sciences et de l'industrie.

Que représentent pour vous les RCE ?

C'est pour moi l'un des plus beaux événements de diffusion de l'astrophysique que je connaisse. À la fois très riche et très bien organisé. On y retrouve un public passionné : l'occasion de partager des idées nouvelles avec des personnes qui prêtent une belle écoute. La qualité du son et de l'image est optimale. C'est peu commun d'avoir de si bonnes conditions pour s'adresser au public. Ce qui, pour un orateur, donne envie de se dépasser, de partager un peu plus que de simples connaissances.

C'est-à-dire ?

Parler de l'Univers, ce n'est pas seulement mieux le faire comprendre au public. C'est aussi partager un émerveillement. Notamment face aux énigmes qu'il nous pose et qui attendent une réponse. Ces mystères sont selon moi très nourrissants. Si certaines personnes avaient autant d'appétit pour les sciences

L'astrophysicien David Elbaz sera présent aux RCE en novembre 2021.
© L. Honnorat



que pour un gâteau, peut-être plongeraient-elles moins dans les *fakes news*. Car une *fake news*, c'est une réponse toute prête. Un refus de rester suspendu à une question ouverte. C'est pourtant ce type de questions qui a le plus de valeur en sciences.

Depuis 2014, c'est votre quatrième participation consécutive aux RCE. Gardez-vous un souvenir particulier d'une édition précédente ?

Au sortir de ma conférence en 2018, Alain Cirou [directeur de la rédaction de *Ciel & espace*, NDLR] m'a dit : "Il y a un côté spectaculaire dans la manière dont tu présentes les sciences. Tu devrais aller plus loin." Sur cette suggestion, j'ai écrit un spectacle intitulé *La danse des galaxies*, aujourd'hui mis en scène par Patrick Dedole. Nous l'avons présenté le 11 août au festival de Lacoste et le donnerons en décembre à Paris, avant de partir en tournée internationale. C'est quelque chose d'absolument novateur qui allie hologrammes, danseurs et musiciens ! Les RCE, c'est aussi l'occasion d'échanger de bons conseils.

Cette année, quel sera le thème de votre conférence, dans l'amphithéâtre Gaston Berger (900 places) ?

J'aimerais transmettre une idée que je développe dans mon livre *La plus belle ruse de la lumière*, qui sera paru quelques jours plus tôt. On dit d'une part que l'Univers évolue toujours dans le sens de l'augmentation du désordre, aussi appelé entropie. Pourtant, dans l'espace, la matière n'a cessé de s'organiser en structures ordonnées. Désordre ou structures ordonnées : c'est contradictoire ! En réalité, entropie n'est pas synonyme de désordre. J'y explique cette distinction ainsi que la façon dont la matière se réorganise, toujours par le biais de l'émission de lumière. Une lumière qui n'est pas qu'un simple message. C'est elle qui façonne l'Univers.

PROPOS RECUEILLIS PAR GL

Rencontres du ciel et de l'espace : les 19, 20 et 21 novembre 2021, à la Cité des sciences et de l'industrie, Paris. Programme détaillé sur www.afastronomie.fr/rencontres-ciel-espace



Plongez dans une simulation à 360° avec les moonwalkers d'Apollo. © Immersive Adventures/D. Mathieu/DR

EXPLOR'ESPACE : ROULEZ EN JEEP LUNAIRE COMME CHARLIE DUKE !

Les 5, 6 et 7 novembre à Montrouge, préparez-vous à passer votre permis de conduire... sur la Lune. Parmi les nombreuses animations immersives du festival Explor'espace, organisé par l'AFA, l'une d'elles vous emmène en plein cœur de la vallée Taurus-Littrow, où s'est posée Apollo 17 en décembre 1972. C'est maintenant votre tour d'en longer les cratères et d'en contourner les montagnes, au volant de la jeep lunaire. Recréé en images de synthèse par l'entreprise barcelonaise Immersive Adventures, le décor est fidèle au site de la mission. Il sera projeté grâce à une technologie "full dome" dans le planétarium itinérant de l'équipe de Didier Mathieu. *"C'est une animation toute neuve que nous venons de nous procurer, pour la projeter à 360° sous notre dôme de 5 m de diamètre. Au centre, le public pilote la jeep en temps réel"*, décrit le président de l'Association des planétariums de langue française. *"Il y a quelques petites surprises dissimulées dans la simulation, qui servent de prétexte à en apprendre plus sur l'environnement lunaire"*, ajoute Didier Mathieu, également responsable du planétarium d'Épinal. Coup de klaxon ? Pot d'échappement qui fume ? Peut-être aurez-vous à déceler ces "erreurs lunaires". En vous retournant vers la base d'alunissage, vous pourriez même voir les avatars de Gene Cernan et de Harrison Schmidt s'affairer autour du LM avant de monter à son bord et de décoller vers la Terre, vous laissant seul à la surface de notre satellite. À Montrouge, un autre astronaute sera présent, lui, en chair et en os : Charlie Duke, qui a marché sur la Lune lors d'Apollo 16. *"Bien sûr, nous souhaitons lui faire piloter notre jeep virtuelle !"* s'enthousiasme Didier Mathieu. Le moonwalker avait à l'époque parcouru plus de 26 km à bord du rover lunaire. Quelle distance couvrira-t-il cette fois-ci ?

Festival Explor'espace à Montrouge : les 5, 6 et 7 novembre 2021
Réservations et informations sur [afastronomie.fr](http://www.afastronomie.fr)

ACTIVITÉS DE L'AFA

LES VOYAGES

Islande, la chasse aux aurores boréales
du 1^{er} au 9 novembre ou
du 31 janvier au 8 février 2022

Chili et Atacama mars 2022

À la découverte des observatoires et du ciel austral



LES PROCHAINS ÈVÈNEMENTS

Le Festival des 2 infinis, jusqu'au 23 octobre 2021 en région parisienne.

Le Festival Explor'espace, notre évènement immersif consacré aux sciences de l'univers à Montrouge les 5, 6 et 7 novembre.

Les Rencontres du ciel et de l'espace, du 19 au 21 novembre à la Cité des sciences et de l'industrie.

Toutes les infos sur www.afastronomie.fr.

LES STAGES

STAGE 1^{re} ÉTOILE ★

les 16 et 23 octobre à Paris (75)
le 30 octobre à Dijon (21)
le 6 novembre à Laval (53)
les 13 et 27 novembre à Paris (75)
le 27 novembre à Helfaut (62)

STAGE 2^e ÉTOILE ★★

le 20 novembre à Buthiers (77)

STAGE 3^e ÉTOILE ★★★

Astrophotographie et imagerie
le 26 novembre à Buthiers (77)

Et toute l'année, formations à la demande à Moydans (05) avec l'Observatoire des baronnies provençales ou à Thorens-Glières (74) avec le club Kaus Australis.

Prenez contact avec notre réseau de formateurs labellisés 123 étoiles sur www.afastronomie.fr

ANNONCEZ VOS ÉVÈNEMENTS : agenda@cieletespace.fr

NUITS ÉTOILÉES D'Auvergne

Depuis les années 1970, l'ancienne gare de la Mouniaude n'accueille plus de trains. Classée monument historique, elle reçoit cette année les 6es Nuits étoilées d'Auvergne (NEA), organisée par le collectif CARA. Trois jours durant, 80 bénévoles enthousiastes se relaieront pour partager leur passion de l'astronomie. Si le jeudi et le vendredi, l'accent est donné à l'accueil de classes, le grand public profitera pleinement des conférences, stands, et observations du ciel le samedi. En 2019, 2000 élèves et un millier de visiteurs ont profité des NEA.

Chatel-Guyon (63) - du 30 septembre au

2 octobre

Gratuit

www.astronomie-auvergne.fr



© Pexel/J. Kaeräinen



© G. Langin



TOUTE LA FRANCE

La Fête de la science célèbre ses 30 ans cette année. Des milliers d'événements sont prévus, dont certains astronomiques. À n'en pas douter, il se passe quelque chose près de chez vous !

Du 1^{er} au 11 octobre (Métropole, Nouvelle-Calédonie)
Du 5 au 22 novembre (international, Corse et Outre-mer)
www.fetedelascience.fr

RIRE D'ESPACE À MARSEILLE

Le cosmos peut-il nous faire rire ? Pour vous offrir d'y répondre, la Galerie des grands bains-douches de la Plaine ouvre ses portes pendant six semaines. Suite à une proposition du physicien Jean-Marc Lévy-Leblond, 26 artistes exposeront leurs œuvres livrant un regard joyeux, souvent décalé sur ce que leur évoque l'espace. Certaines créations ne manqueront pas de vous décrocher un sourire.

Marseille (13) - du 5 novembre au 18 décembre

Entrée libre, du mardi au samedi de 15 h à 19 h

<https://art-cade.net>

SPECTACLE STELLAIRE

Elle est astrophysicienne, lui est peintre. Ensemble, ils vont vivre une belle histoire d'amour, mais surtout un incroyable voyage interstellaire. La compagnie Stereoptik, spécialiste dans l'art du dessin fabriqué à vue, a composé Stellaire, un spectacle touchant et poétique. Maniant les arts plastiques avec dextérité, et par un subtil jeu de caméras, un duo d'artistes crée les images en temps réel, tout comme la musique. Le résultat est à la fois magique et didactique. Il convient aux petits et grands. À voir !

Tournée en France - jusqu'en 2022

Dates sur :

www.stereoptik.com/stellaire-2

BORDEAUX (33)

Conférence "La Lune, entre mythes et réalité", donnée à la bibliothèque Mériadeck par Corine Yahia, présidente de l'association Astronomie Gironde 33.

Les 7 et 4 octobre, de 18 h 30 à 20 h 30
Gratuit, tout public
www.ag33.fr

MAILLET (37)

Les clubs Caroline H et Galilée organisent leurs premières Rencontres astronomiques en Berry-Sud. Hébergement possible sur place.

Du 7 au 10 octobre 2021
Réservations sur
www.famillesrurales.org/maillet/27/astonomie-rabs

AILLON-LE-JEUNE (73)

Journée de formation à la radioastronomie auprès de l'école d'astronomie Science Explo, qui vient de s'installer dans de nouveaux locaux. À partir de 16 ans.
9 octobre, de 9 h à 22 h
150 €
www.scienceexplo.fr

L'OBSERVATOIRE CONNECTÉ

Privé de Nuits des coupoles ouvertes en 2020 et 2021 pour cause de crise sanitaire, l'observatoire de la Côte d'Azur (OCA) a su innover. L'institut de recherche s'est offert les services de l'entreprise VIP studio 360 pour faire découvrir ses deux sites, le plateau de Calern et l'observatoire de Nice, de manière virtuelle. En plus de vous promener librement de dôme en dôme, dans lesquels des vidéos d'astronomes vous présentent leurs expériences, plusieurs visites guidées sont prévues en direct plusieurs soirs de novembre, pendant les Rendez-vous connectés de l'OCA.

Nice, Caussols (06) – dès novembre

Gratuit

www.oca.eu



© Obs. Caussols

NOUVELLES RENCONTRES À LA CITÉ DES SCIENCES

Coronavirus oblige, il aura fallu patienter un an avant de pouvoir se retrouver aux Rencontres du ciel et de l'espace. Grande réunion biennale de l'astronomie, les RCE 2021 réuniront comme à l'accoutumée les grands noms de l'astrophysique française, dans les amphithéâtres Gaston Berger et Louis Armand de la Cité des sciences et de l'industrie. Des forums techniques pour les astronomes amateurs, une grande foire de matériel astronomique, des spectacles au planétarium et autres ateliers en complètent le riche programme.

Paris (75) – les 19, 20 et 21 novembre

billetterie sur www.afastronomie.fr



© Afa

EXPLOR'ESPACE, LE FESTIVAL INTERACTIF !

Un rendez-vous où le public n'est pas seulement spectateur, mais acteur de la conquête spatiale. Des pépites de laboratoires issues des grands instituts de recherche français. Des expériences interactives, immersives, innovantes. Organisé pour la première fois par l'Association française d'astronomie, le festival Explor'espace affiche un ambitieux et alléchant programme ! Avec un invité d'honneur : Charlie Duke de la mission Apollo 16, un des douze astronautes à avoir marché sur la Lune.

Montrouge (92) – les 5, 6 et 7 novembre

Gratuit – Entrée libre au Beffroi, réservation selon activité

www.afastronomie.fr/festival-explor-espace



© Nasa

TOUTE LA FRANCE

13^e édition du Jour de la nuit, opération de sensibilisation à la pollution lumineuse, mettant le ciel étoilé et la biodiversité nocturne à l'honneur.

9 octobre

[https://geophoto.](https://geophoto.agirpourenvironnement.org/le-jour-de-la-nuit)

[agirpourenvironnement.org/le-jour-de-la-nuit](https://geophoto.agirpourenvironnement.org/le-jour-de-la-nuit)

LE BOURGET (93)

Exposition temporaire "Voir et observer : l'imagerie spatiale militaire", au musée de l'Air et de l'Espace.

Jusqu'au 7 novembre

www.museeairespace.fr

ÉPINAL (88)

Séances au planétarium d'Épinal, l'un des rares au monde à bénéficier d'une définition 10K.

Mercredi à 14 h 15, vendredi à 20 h 15

adulte 8 €, enfant 6 €, - 5 ans gratuit, famille de 4 : 25 €

<https://planetarium-epinal.com>

VAYRES-SUR-ESSONNE (91)

Nuit étoilée de l'automne, animée par l'Astroclub vayrois. Des télescopes seront installés sur le stade de la ville, pour une initiation à l'observation du ciel.

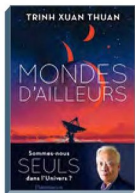
6 novembre, 21 h

Gratuit

<https://astroclubvayres.monsite-orange.fr>

VULGARISATION

Y A-T-IL UNE VIE APRÈS LA TERRE ?



LE PUBLIC

Tout le monde peut lire ce livre. Il devrait toucher un large public.

EN RÉSUMÉ

“Existe-t-il d’autres systèmes planétaires dans l’Univers ? Ressemblent-ils à notre Système solaire ? Sont-ils susceptibles d’héberger des formes de vie et d’intelligence,

semblables ou non à la nôtre, qui sait ? Si des intelligences extraterrestres existent, avons-nous la possibilité d’entrer en contact avec elles ?” Dès les premières lignes, Trinh Xuan Thuan déroule le projet de son livre : raconter ce que la science a à nous dire sur la possibilité de la vie au-delà de notre planète. Après un chapitre consacré à l’histoire de ce questionnement, l’astrophysicien fait le point sur la recherche des exoplanètes, l’origine et l’histoire de la vie sur Terre, les sites où chercher la vie dans le Système solaire et autour des étoiles, puis la quête de signaux extraterrestres et enfin la possibilité d’un voyage humain vers les étoiles. Le dernier chapitre, suivi d’un épilogue, est consacré au paradoxe de Fermi : si la vie est partout dans l’Univers, pourquoi n’avons-nous jamais été en contact avec une autre civilisation ?

NOTRE AVIS

La grande question de la vie ailleurs est fascinante et beaucoup d’auteurs l’ont déjà traitée. Peu cependant l’ont fait avec autant de clarté que Trinh Xuan Thuan dans *Mondes d’ailleurs*. Au lecteur qui ne s’est jamais vraiment intéressé au sujet, il dévoilera un extraordinaire continent intellectuel. Et celui ou celle qui a déjà beaucoup lu sur la question aura parfois l’impression de la redécouvrir. C’est que ces 540 pages qui se lisent d’un trait fourmillent d’informations ! Bien sûr, on n’est pas obligé de partager la conviction de l’auteur, souvent affichée, selon laquelle la conscience et la vie ont été “programmées” dans l’Univers : *“Dans ma perception, l’Univers n’a de sens que s’il contient une intelligence capable d’appréhender sa beauté, son harmonie et son organisation.”* Mais il faut bien reconnaître que, au côté de son sens de la formule (*“La nature est comme un joueur de jazz : une fois le thème principal établi [...] elle ne se laisse pas de broder à l’infini autour de ce thème pour innover.”*), c’est d’elle sans doute que Trinh Xuan Thuan tire sa capacité à si bien conter la science.

DF

MONDE D'AILLEURS / Trinh Xuan Thuan

Éditions Flammarion / 540 p. / 23,90 € / ★★★★★

VULGARISATION

LA SCIENCE À PETITES BOUCHÉES



LE PUBLIC

Il s’agit d’un livre de vulgarisation s’adressant à un public non averti.

EN RÉSUMÉ

L’ouvrage est une recension de faits étonnants liés à la physique, la biologie, l’astronomie. Ils sont répartis sous trente-quatre thématiques. On y apprend par exemple que l’on se déplace à 107 000 km/h du simple fait de tourner autour du Soleil, ou encore qu’un être humain est fait de 10 000 fois plus d’atomes qu’il n’y a d’étoiles dans l’Univers connu.

NOTRE AVIS

L’auteur, Théo Drieu, est le cocréateur de la chaîne YouTube “Balade mentale”. Les faits évoqués ne sont pas très originaux et pas aussi secrets que le titre le laisse penser. Si vous avez déjà une petite culture scientifique, ce livre n’est pas vraiment fait pour vous. C’est néanmoins une bonne façon d’attiser la curiosité de ceux qui ont eu du mal avec l’approche scolaire des sciences. De plus, le ton décontracté permettra de toucher les plus jeunes. C’est donc une bonne idée de cadeau pour eux, surtout s’ils tendent à décrocher de l’enseignement des sciences.

JLD

34 PETITS ET GRANDS SECRETS
DE L'UNIVERS / Théo Drieu

Éditions Belin / 350 p. / 22 € / ★★★★★

TÉMOIGNAGE

PASSIONNÉS
DE COMÈTES

LE PUBLIC

Écrit dans un style agréable, vulgarisé et accessible à tous, cet ouvrage satisfera en priorité les observateurs et les observatrices du ciel qui rêvent de découvrir un petit corps dans le Système solaire.

EN RÉSUMÉ

Ce livre agrémenté de quelques dessins humoristiques raconte une expérience personnelle, celle de Michel Ory, un professeur de physique qui a rejoint le club très fermé des astronomes amateurs ayant identifié de nouvelles comètes. Le récit commence d'ailleurs par sa première découverte. À travers les onze chapitres de son ouvrage, l'auteur partage une foule d'informations sur les comètes, dévoile de nombreuses histoires passionnantes sur leur découverte et donne des conseils avisés à ceux qui seraient tentés de suivre son exemple.

NOTRE AVIS

De bonnes histoires, une documentation rigoureuse, une passion communicative : tous les ingrédients sont là pour faire de *Chasseurs de comètes* une référence pour les astronomes amateurs. Un petit livre très dense à avoir à portée de main dès qu'une comète pointe le bout de sa chevelure.

PH

CHASSEUR DE COMÈTES / Michel Ory

De Boeck / 190 p. / 19 € / ★★★★★

ESSAI

LA COSMOLOGIE DE TEMPS
EN TEMPS

LE PUBLIC

Moins grand public qu'un *Ciel & espace*, cet ouvrage nécessite d'avoir déjà des bases en astronomie et de connaître la méthode scientifique, au risque de s'épuiser pendant les passages les plus difficiles.

EN RÉSUMÉ

Comment a-t-on su que l'Univers avait 13,7 milliards d'années ? Au prétexte de répondre à cette question, l'auteur retrace toute l'histoire de la cosmologie et de ses découvreurs, avec un accent sur la relativité générale, car c'est aujourd'hui elle qui dessine notre conception du cosmos. Une attention particulière est donnée à la mesure du temps, dans ce cadre n'est pas intuitive.

NOTRE AVIS

Pour expliquer l'âge de l'Univers, il y a la réponse courte — c'est le temps qui s'est écoulé depuis le big bang — et la réponse longue. Ce livre donne la réponse longue. Mais une réponse minutieuse. L'auteur choisit de poser d'abord les bases théoriques nécessaires, avant de véritablement répondre à la question, à partir du chapitre 8 (sur 11). Si bien que l'ouvrage est un très bon panorama des connaissances en cosmologie moderne, mais aussi de ses doutes. L'usage de certaines métaphores est efficace. En revanche, l'absence d'illustrations est parfois gênante, particulièrement lorsqu'il est question de géométrie.

GL

L'ÂGE DE L'UNIVERS / Marc Lachièze-Rey

HumenSciences / 264 p. / 17 € / ★★★★★

UNIVERSITAIRE

L'HUMAIN ET L'ESPACE
Ouvrage collectif / éditions Flammarion / coll. Champs sciences / 330 p. / 64 €
Ce livre se veut le tout premier sur la physiologie spatiale écrit en français. Il propose en effet une mine d'informations sur l'adaptation des astronautes à l'espace. Mais sa lecture est parfois ardue.

DF

VULGARISATION

IDÉES DE GÉNIES
Étienne Klein et Gautier Depambour / éditions Flammarion / coll. Champs sciences / 340 p. / 10 €
Présentés en format poche, ces trente-trois textes qui ont "bousculé la physique" entre le XVII^e et le XXI^e siècle offrent une plongée inspirante dans l'histoire des sciences.

DF

VULGARISATION

LE GRAND GUIDE DE L'ASTRONOMIE
Préface d'Hubert Reeves / éditions Glénat / 300 p. / 30 €
Ce livre traduit de l'Italien est une réédition mise à jour. Sans grande originalité, il comporte des contenus encyclopédiques sur l'astronomie, un cahier photo et un passage en revue des constellations.

JLD

GUIDE

LE GUIDE DU CIEL
2021-2022
Guillaume Cannat / AMDS / 350 p. / 34 €
Quand aura lieu la prochaine éclipse de Lune visible depuis la France ? Les pluies d'étoiles filantes ? Ou l'occultation d'une étoile par un astéroïde ? Tout ce qui doit se passer dans le ciel se trouve dans la 27^e édition de ce guide incontournable pour son exhaustivité et sa précision.

PH



RETOUR AU GARAGE

Piteux symbole pour Boeing. Le 19 août, le géant américain renvoyait au hangar sa capsule habitable CST-100 Starliner. Des valves des propulseurs du vaisseau se sont bloquées, alors que celui-ci était déjà installé au sommet d'une fusée Atlas 5 pour un deuxième vol de démonstration vers la station spatiale internationale (ISS), le

premier ayant échoué en décembre 2019. Pendant ce temps, son concurrent Space X caracole : la compagnie d'Elon Musk reste la seule aux États-Unis à pouvoir envoyer des astronautes vers l'ISS et elle a même brièvement érigé la plus grande fusée du monde début août (lire page 15).

© S. Clark/Spaceflightnow.com

DAVID FOSSÉ

Complétez votre collection !



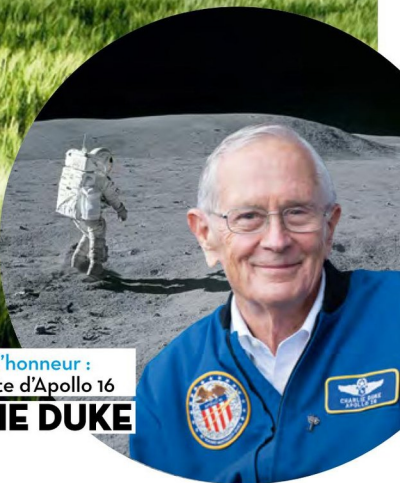
Retrouvez toutes nos publications
en version papier ou numérique sur

<https://boutique.cieletespace.fr/numeros/>

Ciel&espace

5, 6 et 7 novembre 2021 - Beffroi de Montrouge

Explor'Espace



Invité d'honneur :
l'astronaute d'Apollo 16

CHARLIE DUKE

Le premier festival d'astronomie immersif et interactif en France

WWW.AFASTRONOMIE.FR/FESTIVAL-EXPLOR-ESPACE



Ciel&espace



esa



universcience

